

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

**Flotace polymetalického sedimentu se zvýšeným obsahem
mědi**

Flotation of polymetallic sediment with increased copper content

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Michal Koňář

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Iva Janáková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Katedra environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Michal Koňář

Studijní program:

N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma:

Flotace polymetalického sedimentu se zvýšeným obsahem mědi
Flotation of polymetallic sediment with increased copper content

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Osnova:

1. Úvod a cíl práce
2. Teorie flotace
3. Flotace rud a činidla použitá při flotaci
4. Laboratorní testy
5. Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Fečko, Peter. *Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-921-2.

Gupta, Ashok Yan, Denis. *Mineral Processing Design and Operations - An Introduction* (2nd Edition). Elsevier. 2016.

Bulatovic, Srdjan M. *Handbook of Flotation Reagents - Chemistry, Theory and Practice, Volume 1 - Flotation of Sulfide Ores*. Elsevier. 2007.

KMEŤ, Stanislav. *Flotácia*. Bratislava: Alfa, 1992. ISBN 80-05-00971-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Iva Janáková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu




doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

- Celou diplomovou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská- Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB- TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB- TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 20.4.2018

Plné jméno autora Bc. Koňář Michal

Podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Iva Janáková, Ph.D. za vedení a pomoc při tvorbě diplomové práce. Dále chci poděkovat panu doc. Ing. Vladimíru Čablíkovi, Ph.D. a paní Ing. Miluši Hlavaté, Ph.D. za poskytnuté technologické zázemí a konzultace. V neposlední řadě děkuji také paní Ing. Martině Nováčkové, Jarmile Bílské a panu Dr. Ing. Daliboru Matýskovi za možnost využití laboratoří a celkovou ochotu při spolupráci. Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin - Projekt udržitelnosti. Identifikační kód: LO1406. Projekt je podporován Národním programem udržitelnosti financovaném ze státního rozpočtu ČR.

Anotace

Diplomová práce se zabývá procesem získávání koncentráту s navýšeným obsahem mědi z polymetalického sedimentu se zvýšeným obsahem mědi. Kovonosný materiál vzniká sedimentací odpadních důlních vod po těžbě rud oblasti Zlaté Hory. Pro zjištění charakteru materiálu a volby optimálního flotačního postupu je zájmová oblast sledována z geologického hlediska, rovněž však geografického a hydrologického.

Experimentální část práce se zaměřuje na flotaci předupraveného důlního sedimentu, s cílem získat produkt s navýšenou koncentrací mědi. Experiment sestává ze dvou odlišných flotačních testů s rozdílným průběhem. Flotační testy se tedy liší z hlediska postupu, ale také zahuštění rmutu a rozdílných flotačních reagensů.

Klíčová slova: Koncentrát, sediment, flotace, flotační reagensie, měď

Summary

The aim of diploma work is to obtain concentrate with increased concentration of copper from polymetallic sediment with enriched concentration of copper. The metallurgical material is generated by sedimentation proces of waste mining waters from ore mining in the area of Zlate Hory. To determine the features of the material and the optimal choice of the flotation process, the interest area is monitored from a geological point of view, but also geographic and hydrological.

The experimental part is aimed to flotation of premodified sediment in order to obtain a concentrate with increased amount of copper. The experiment consists of two different flotation tests with a different course. Thus, the flotation tests differ in terms of process but also in concentration of mash and different flotation reagents.

Key words: Concentrate, sedimentation, flotation, flotation reagents, copper

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	2
3	OBLAST ZLATÉ HORY	3
3.1	Historie těžby	4
3.2	Geografie Zlatých hor	5
3.3	Hydrologie Zlatých Hor	5
3.4	Vznik sedimentu.....	6
4	GEOLOGIE REVÍRU ZLATÉ HORY	9
4.1	Rudní tělesa	10
4.2	Charakteristika ložisek aktivních ve 20. století.....	11
4.2.1	Zlaté Hory- Západ.....	12
4.2.2	Zlaté Hory- Východ	13
4.2.3	Zlaté Hory- Jih	14
4.2.4	Zlaté Hory- Hornické skály	14
4.2.5	Zlaté Hory- Heřmanovice	15
4.3	Charakteristika rud oblasti Zlaté Hory	15
4.4	Složení Zlatohorních rud	16
4.4.1	Užitné složky	16
4.4.2	Hlušínové složky.....	18
5	FLOTAČNÍ ZÍSKÁVÁNÍ MĚDI.....	19
5.1	Flotace mědi pyritových a chalkopyritových rud.....	20
5.1.1	Postup zisku Cu koncentráту pěnovou flotací.....	21
5.1.2	Postup zisku Cu koncentráту obrácenou pěnovou flotací	25
6	PRAKTICKÁ ČÁST	28

6.1	Úprava sedimentu a charakteristika sedimentu	29
6.1.1	Úprava sedimentu	29
6.1.2	Mineralogické a prvkové složení sedimentu	31
6.2	Úprava vzorku před flotací.....	33
6.3	Obecný postup flotačních metod.....	34
6.3.1	Pěnová flotace.....	34
6.3.2	Obrácená pěnová flotace.....	35
6.4	Použitá flotační činidla.....	35
6.5	Metodika flotačních testů	37
6.6	Aplikovaná pěnová flotace.....	37
6.7	Vyhodnocení flotačních testů.....	40
6.8	Aplikovaná obrácená pěnová flotace	47
6.9	Vyhodnocení flotačních testů.....	49
7	ZÁVĚR	55
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
9	SEZNAM ZKRATEK	62
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
11	SEZNAM TABULEK	64
12	SEZNAM GRAFŮ	66

1 ÚVOD

Nerostné suroviny a jejich naleziště jsou v různých měrách rozprostřeny po celé planetě. Tato naleziště se nacházejí ve snáze, či hůře dobytelných částech litosféry. Hlavní roli při dobývání ložisek nerostných surovin proto hrají především ekonomické a technologické faktory. Vzhledem k neustále se vyvíjejícím technologiím se z historického hlediska dostáváme do bodu, kdy je rozumné zvážit dobývací metody zisku nerostných surovin a obrátit pozornost na materiály již vytěžené. Jedná se o odpadní produkty z těžby v podobě hlušin, sedimentů důlních vod a dalších. Tyto materiály po hlubinné těžbě mohou představovat významný zdroj nerostných surovin, za předpokladu, že technologie použité v minulosti nedosahovala svou výtěžností efektivitu metod aplikovaných dnes.

Proto se tato práce v první části zabývá oblastí původu důlního sedimentu, především geologických poměrů ovlivňujících vlastnosti zkoumaného sedimentu. Je zde popsán vznik sedimentu a jeho úprava před uskladněním. Geologické poměry jsou sledovány komplexně pro celou oblast. Nejdůležitějšími ukazateli je charakter rud oblasti Zlaté Hory, jejich užité a hlušinové složky. V těchto kapitolách bylo zjištěno teoretické složení zkoumaného sedimentu, které se upřesnilo na základě dále aplikovaných mineralogických a prvkových analýz.

Praktická část diplomové práce popisuje charakter sedimentu díky mineralogickým a prvkovým analýzám. Je zde popsán rovněž postup úpravy vzorku, který byl zvolen stejně pro proces analýzy i pro flotační testy. Díky mineralogických a prvkovým analýzám byla zjištěna koncentrace Cu a dalších kovů jako Zn, Fe. Rovněž bylo zjištěno stopové množství drahých kovů jako Au a Ag. Experimentální část práce si vzala za cíl získat produkt s navýšenou koncentrací mědi, která se v neupraveném sedimentu vyskytovala v množství 3,95 %. V dalších částech popsán postup volby flotačních metod, založený na dříve provedených experimentech. Dále jsou zde popsány průběhy flotačních testů, použité reagenty v různých koncentracích a mechanismy jejich působení.

2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjištění charakteru sedimentu důlních vod Zlatohorní oblasti pro aplikaci vhodného druhu úpravnické metody. Zjištěním charakteru materiálu je vybrána vhodná aplikovatelná metoda pro získání koncentráту s navýšeným podílem užité složky mědi. Díky mineralogické a prvkové analýze je možno sledovat koncentrace jednotlivých minerálů a kovů.

Za účelem získání budou vybrány dvě flotační metody s různými flotačními reagenty. Na základě množství flotačních reagentů jsou tyto metody postaveny do přímého porovnání, aby byla zjištěna neoptimálnější varianta flotační metody a reagentů. Porovnání flotačních metod je na základě výnosů frakcí, navýšení koncentrace mědi a výtěžnosti mědi do koncentráту.

3 OBLAST ZLATÉ HORY

Zlaté Hory patří mezi geologicky velice zajímavou oblast okresu Jeseník. Jedná se o jedno z nejvýznamnějších nalezišť nerostných surovin v České republice. Dodnes se zde ukrývá značné množství surovin, nehledě na to, že dobývání zde probíhalo různými metodami několik staletí. Díky přítomnosti značného bohatství Zlatých Hor je tato oblast stále nevyčerpaným zdrojem a je velmi důležité se jí proto zabývat.

3.1 Historie těžby

Z historického hlediska se začátek využívání ložiskové oblasti Zlaté Hory datuje do období prvního osídlení oblasti, tedy druhá polovina 10. století. Vzhledem k ne příliš příznivé politické situaci té doby, kdy docházelo k častým mocenským sporům o území, se oficiální počátek těžby datuje do 14. století, kdy bylo Zlatým Horám uděleno městské privilegium. Počátky těžby probíhaly způsobem přerýžování sedimentů a také těžbou svahovin. ^[1]

Z pohledu novodobé historie je oblast koncem 2. poloviny 20. století (1945) především objektem zájmu sběratelů minerálů, oblastí zájmu se stala Modrá štola. Intenzivní geologický průzkum byl proveden roku 1952. Výsledky průzkumu vedly k zahájení dotěžení starých ložisek- Modrá štola, štola Josef, štola Barbora, Stará Hackelsberská štola a štola Sarkander. Následovala ražba nových štol Mír, Nová jáma, Pomocná jáma (vznikla prohloubením Modré štoly). ^[1]

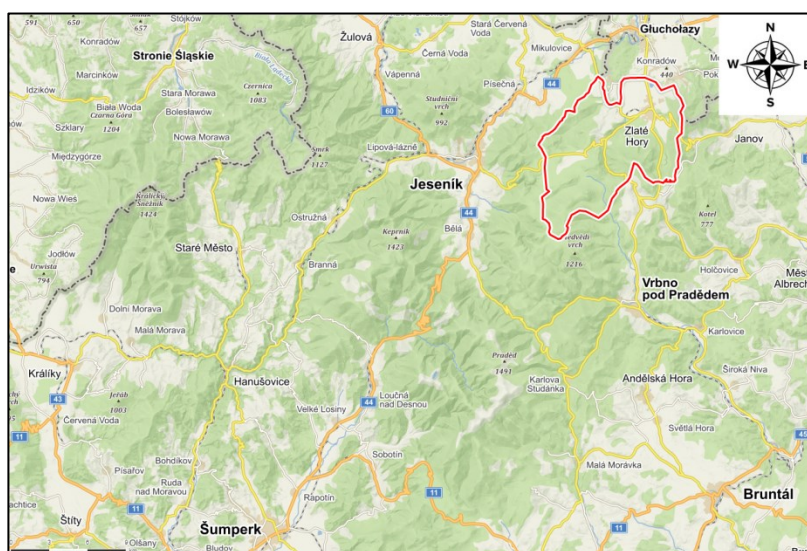
V 2. polovině 20. století jsou z dobývacího hlediska nejatraktivnějšími oblastmi Zlatých Hor oblasti ZH- západ, ZH- východ, ZH- jih, Heřmanovice, Hornické Skály. V 80. letech minulého století došlo k dotěžení monometalických rud z ložisek ZH- jih, Kozlín a Hornické Skály, načež se dobývání začalo soustředit do oblastí ZH- západ a ZH- východ a došlo k propojení těchto ložisek. Mezi lety 1988 a 1992 docházelo k těžbě komplexních rud ložiska ZH- východ. Poslední vytěžený materiál ukončil těžbu dne 17. 12. 1993. V oblasti ZH- západ probíhala poslední etapa těžby Zn-Au rud, v letech 1990- 1993. Dobývaným materiálem byly stříbrno- zlaté rudy, kovnatost se zde pohybovala průměrně okolo $2,367 \text{ g t}^{-1}$. ^{[1], [2]}

Surovinová politika České republiky v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů není v současné době kompatibilní s návrhy pro znovuspuštění důlních aktivit v této oblasti.

Na základě statistických údajů, které zpracovalo Ministerstvo životního prostředí v roce 2016, jsou Zlaté Hory stále evidovány jako zdroj Au, Ag, Cu, Pb a Zn. Dobývání kovů proto naráží především na legislativní a ekonomické limity současné doby. ^[3] Z pohledu nerostného bohatství České republiky je ale dobrou zprávou, že tato možnost stále existuje a pro další činnost bude klíčový vývin dobývacích technologií a vývin světového trhu s nerostným bohatstvím. ^[1]

3.2 Geografie Zlatých hor

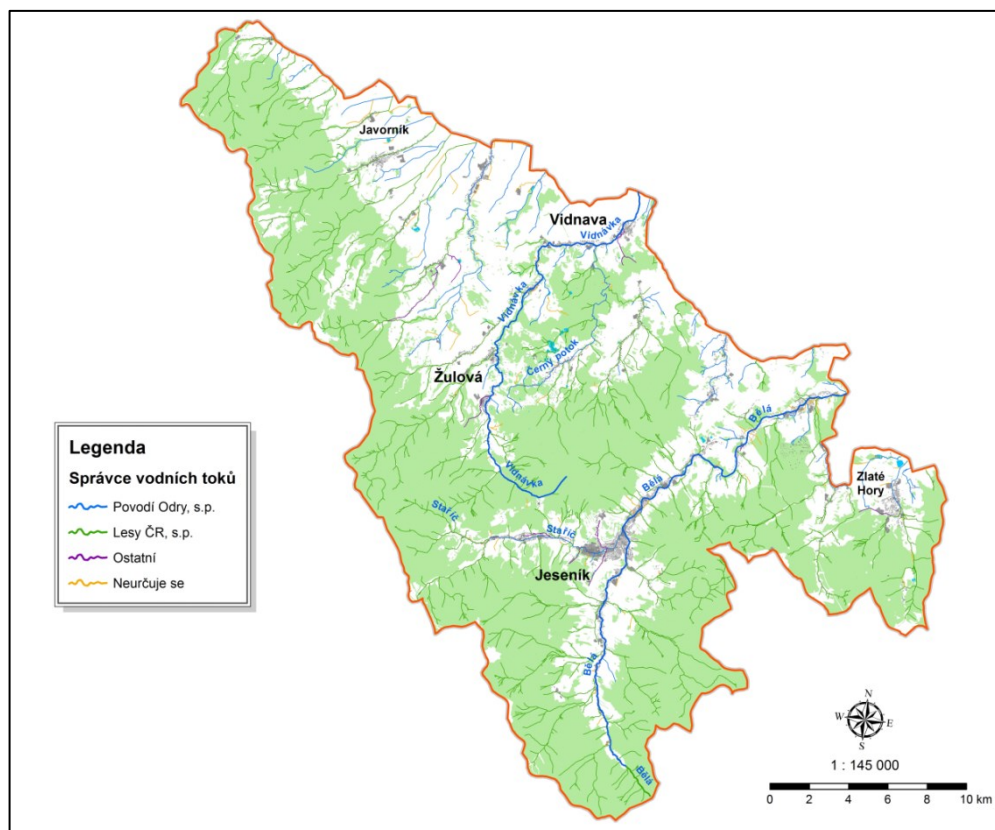
Tuto pohraniční, geologicky atraktivní oblast nalezneme v Olomouckém kraji, okrese Jeseník, obec Zlaté Hory. Jedná se tedy o pohraniční oblast severní Moravy tvořící hranici s Polskem. Oblast je možné označit jako Zlatohorský rudní revír, popřípadě Zlatohorský revír. Zlatohorský rudní revír se rozkládá na území 26 km², nalezneme jej ve vzdálenosti 10 km od Vrbna pod Pradědem. Rozkládá se mezi obcemi Zlaté Hory na severu, Heřmanovice na jihu, Příčný Vrch na východě a Horním Údolím na západě. Oblast se dělí na 5 částí a sice: Zlaté Hory- Západ, Zlaté Hory- Východ, Zlaté Hory- Jih, Zlaté Hory- Hornické skály a Zlaté Hory- Heřmanovice. [1]



Obrázek 1 Lokalizace Zlatých Hor, převzato a upraveno podle [4]

3.3 Hydrologie Zlatých Hor

Zlatohorní rudní revír se nachází v povodí řeky Odry. Podle struktury působnosti povodí Odry spadají Zlaté Hory pod Závod Opava, vodohospodářský podnik Jeseník. Zájmová oblast je situována severovýchodně od hlavního rozvodí řeky Odry a na východě do správy vodního toku Jeseník. Zlatohorní revír se rozkládá na tocích Olešnice, Zlatý potok a Černý potok. Tyto toky jsou charakterizovány vysokým minerálním obohacením, což je způsobeno geologickými poměry oblasti. Podle vydatnosti srážek lze sledovat proměnlivé obohacení vodních toků. Při krátkodobých srážkách je mineralizace toku poměrně vysoká, kdežto při dlouhodobějších deštích průměrná mineralizace klesá z důvodu naředení vod. [5], [6], [7]



Obrázek 2 Hydrologie Zlatých Hor, převzato a upraveno podle [5]

3.4 Vznik sedimentu

Hydrologická charakteristika území popsaná v kapitole 3.3 hraje při vzniku sedimentu důležitou roli. Vzhledem ke geologické charakteristice dochází k značné průsakovosti do důlních děl. Vody mění svůj chemický charakter, je obohacována kovovými ionty a kvůli ochraně důlního díla a vod jsou vody čerpány. Vody jsou sváděny systémem důlních šachet a podle původu se dělí do 4 kategorií- [6]

- Voda ložisek: Naakumulovaná voda ložiskových výplní a prostor mezi horninou
- Voda mimoložiskového původu: Voda původem z povrchových toků a srážek
- Provozní voda: Voda nezbytná pro provoz zařízení společnosti Diamo
- Stařinová voda: Tento druh vody představuje kombinace tří výše zmíněných vod

Podle roční doby je možné zaznamenat kolísání množství důlních vod v rozmezí od 110 l s^{-1} po 180 l s^{-1} . Odpadní důlní vody obsahují rozmanité minerály, které vodám dávají kyselý charakter v rozmezí pH 2,3 – 2,8. Podle ročního období a množství srážek se může pH vod lišit, dochází proto k průběžnému monitoringu a hašeným vápnem k tvorbě zásaditého charakteru vod. [6]

Tabulka 1 Koncentrace obsažených látek v důlních vodách, převzato a upraveno podle [6]

Složka	Koncentrace mg l ⁻¹
SO ₄	673,0- 888,0
Cu	19,8- 89,0
Zn	10,0- 113,8
Pb	0,06- 1,68
Fe	66,4- 96,3
Mn	9,2- 22,8
RL	1206,0- 2921,0
NL	56,0-5417,0

Původ zkoumaného sedimentu je zaštiťován firmou Diamo, státní podnik. Tato firma provádí úpravu vznikajících důlních vod. Charakter vod je průběžně monitorován, dochází rovněž k inspekčním ze strany dalších institucí jako ČIŽP, Povodí Odry, Aquatest a.s.. Oblast je chráněna před mineralizovanými vodami, které představují potenciální nebezpečí pro spodní vody, maximální krasová propustnost je přibližně 100 m pod úrovní terénu. Z toho důvodu zde nalezneme systém kanálů zakončených studnami, ze kterých je voda čerpána do nádrže průsakových vod. Druhým zdrojem vod je úpravna vod pro spodní štoly s vyšší kyselostí. [6]

Vody s obsahem železa, mědi a dalších jsou ve formě oxidů sváděny do již zmíněných kanálů, ze kterých jsou čerpány. Vody jsou shromažďovány do dočistujících stanic, kde jsou vzhledem ke svému kyselému charakteru neutralizovány (neutralizační stanice) hašeným vápnem. Díky hašenému vápnu se v dalším stupni úpravy, usazovací stanice, složky koagulují za vzniku hustého kalu. Neutralizovaný zahuštěný kal je přečerpáván do zařízení DORR, dosazovací stanice, který svými proporcemi napomáhá k zefektivnění procesu a zachycení primárního kalu. Primární kal je přečerpáván do usazovacího jezírka, které slouží k sedimentaci kalu a jednou za rok je tento sediment čerpán ze dna jezírka na skládku kalu, technologicky uzpůsobenou druhu ukládaného materiálu. Technologicky je skládka vybavena potrubím, které jímá vody prosakující kalem a je použita znovu v celém procesu. [6]

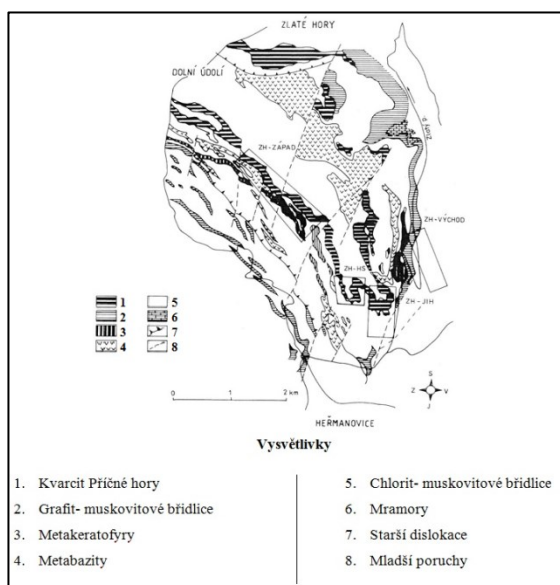


Obrázek 3 Uložení Zlatohorního kalu, převzato a upraveno podle [6]

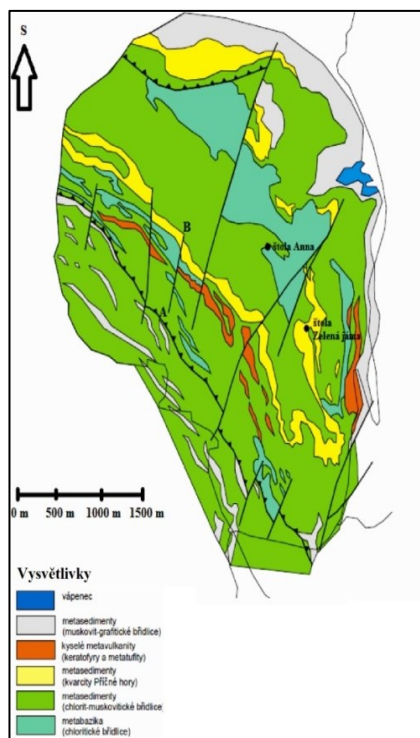
Ekonomická stránka věci je pro podnik relativně výhodná, jelikož produkováná čistá voda je svým množstvím při prodeji schopna pokrýt náklady na provoz zařízení. Celkové pH vod oblasti odváděných ze zařízení je 6,3- 7,2. ^[6]

4 GEOLOGIE REVÍRU ZLATÉ HORY

Rudní revír ZH se rozkládá na území 26 km², nalezneme jej ve vzdálenosti 10 km od Vrbna pod Pradědem. Rozkládá se mezi obcemi Zlaté Hory na severu, Heřmanovice na jihu, Příčný Vrch na východě a Horním Údolím na západě. Z geologického pohledu oblast ZH spadá pod Český masiv, ve kterém tvoří jeho východní okraj. Geologickou podjednotkou je silezikum, ve které se ZH nachází v jeho severní části. Charakteristika zlatohorských hornin je sulfidického charakteru. Revír ZH je součást vulkanosedimentárního komplexu epizonálně metamorfovaných hornin, který spadá do vrbenské skupiny (severní část) z období devonu. Geologicky oblast podléhá vrásové deformaci několika generací a následnou tektonickou aktivitou došlo k rozčlenění do systému skupin. Ve srovnání s ostatními částmi vrbenské skupiny je oblast ZH dosti atypická. Jak je patrné z obrázku 5, nalezneme zde Příčné Hory tvořené kvarcity sedimentárního původu a kyselé metamorfované vulkanity, tvořící vulkanosedimentární komplex. V hlubších vrstvách se nachází chloritické a chlorit- epidotické břidlice, jako produkty bazického vulkanismu. Největší část vrstevního sledu tvoří kalcitické mramory (heřmanovické vápence). Mocnost revíru Zlaté Hory je okolo 1,6 km. Podložní vrstvy vrbenské skupiny tvoří ruly, nadložní jsou tvořeny kulmskými sedimenty. Ložiska aktivní ve 20. století a jejich geologickou charakteristiku graficky vysvětluje obrázek 4. [1], [8]



Obrázek 4 Geologická mapa ložiska, těžba 20. století, převzato a upraveno podle [4]



Obrázek 5 Geologická mapa ZH důlního revíru, převzato a upraveno podle [10]

Oblast Zlatých Hor lze geologicky zařadit do skupiny ložisek vyznačující se masivními sulfidickými rudami. Zlatohorská oblast je však na tyto masivy spíše vzácná. Nejčastějším typem mineralizace je zrudnění, páskové textury jsou přítomny ve formě mezifoliačních rudních proužků, viz obrázek 5. ^[1]

Z petrografického hlediska převažují pyrity oproti užitkovým materiálům jako chalkopyrit, sfalerit, galenit a zlato. Kovnatost těles určuje ohraničení rudního tělesa. ^[1]

4.1 Rudní tělesa

Rudní tělesa ve Zlatohorském revíru jsou tvořena nektrastními formacemi užitkových hornin, tvořenými především pyritem, chalkopyritem a zlatem. Tato tělesa tvoří zřetelnou zónovost, kdy rudy mědi nalezneme především v centrálních částech těles a olovnato-měděné rudy na jejích okrajích. ^{[8], [9]}

- **Tělesa komplexních rud**

Toto těleso se vyznačuje tektonickými strukturami uvnitř zóny. Úseky rud v hostitelských horninách jsou těžko definovatelné, úseky jsou silně deformovány. Uložení rud je v podobě vrásových ohybů a hnízd v horninách s vysokou koncentrací křemene. Tvar rudních těles vytváří tzv. sloupky seřazené za sebou. ^{[1], [10]}

- **Tělesa čočkovitá**

Rudní tělesa vytvářející čočkovité útvary odpovídají metamorfní foliaci hostitelských hornin nebo s litosferickými hranicemi hornin. Tento jev je patrný například na styčné ploše kvarcitové a muskovitové ploše. Z hornin, které zde nalezneme třeba jmenovat chalkopyrit, galenit, sfalerit a pyrit. ^{[1], [10]}

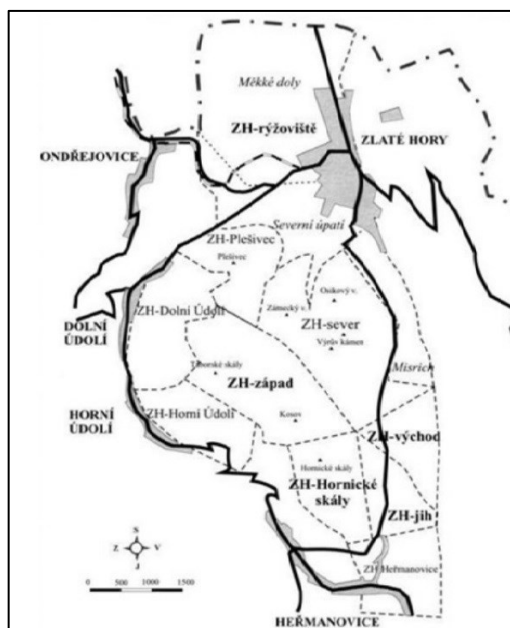
- **Tělesa strná**

Tělesa podobná rudním sloupům, kusovitě seskupená, seskupení však neodpovídá průběhu metamorfní foliace. Nejčastěji jsou strná uskupení tvořena chalkopyritem, pyrrhotinem nebo menším podílem ostatních sulfidů. ^{[1], [10]}

4.2 Charakteristika ložisek aktivních ve 20. století

Mezi lety 1955 a 1993 docházelo k dobývání především těchto štol ZH- jih, ZH- východ, ZH- západ, Heřmanovice a Hornické skály. S ohledem na různorodá složení ložisek a charakter výskytu užitečných složek se jednotlivá zájmová pole liší. Zlatohorský revír slučuje dvě subzóny rudních aureol, spodní a vrchní. Spodní reprezentována majoritně Cu, v menší míře Au a Ag. Vrchní subzónu reprezentuje především Zn a Pb, v menším množství Ag, Au a Cu. Zastoupení těchto kovů je v jednotlivých ložiscích proměnlivé. ^[10]

Vzhledem k rozloze a proměnlivosti zastoupení těchto kovů v jednotlivých ložiscích, budou v následujících podkapitolách jednotlivá ložiska blíže charakterizována. Lokalizace ložisek aktivních ve 20. století ukazuje obrázek 6.



Obrázek 6 Lokalizace Zlatohorních ložisek, převzato a upraveno podle [11]

4.2.1 Zlaté Hory- Západ

Ložisko bohaté na rudy Au, Zn, Pb, Cu. Tektonicky predisponovaná oblast tvořená křemičitany s výskytem kvarcitů Příčných Hor, obsahující kyselé metamorfity. Délky této struktury dosahuje 2.5 km. Nejvýznamnější zrudnění je na kontaktu kyselých metamorfitů a kvarcitů ve svrchních vrstvách, kde tvoří laločnatá tělesa. Laločnatá tělesa jsou tvořena horninami pyrit, sfalerit, chalkopyrit, galenit pyrhotin a prvkem zlato. Délka laločnatých těles dosahuje 1420 m. ^{[1], [12]}

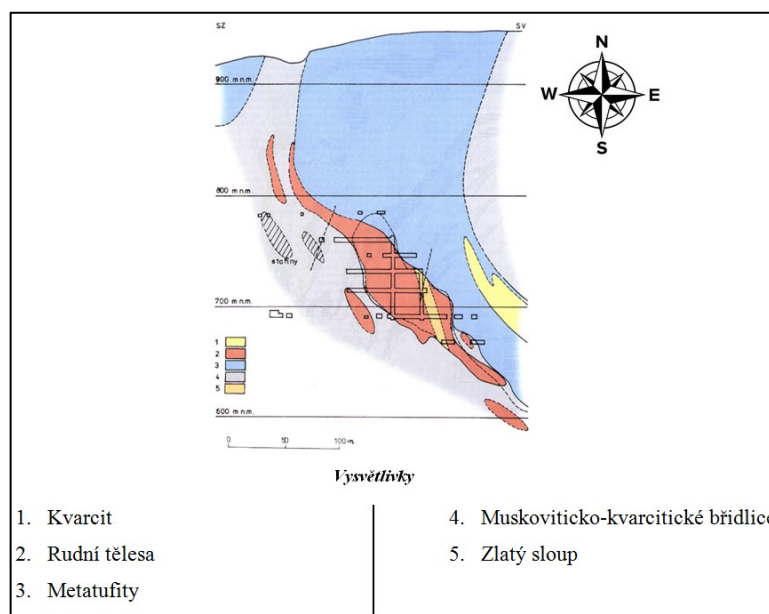
Z hlediska velikosti je zde nejvýznamnějším tělesem zlatý sloup, tvořený protáhlým čočkovitým tělesem o mocnosti 80- 100 m a šířce 100- 200 m. Složení sloupové struktury je charakterizováno prvky zinek, olovo a měď, rovněž také nerovnoměrným zastoupením zlata, s průměrným obsahem $2,4 \text{ g t}^{-1}$. Ve zbytku rudonosné struktury je zastoupení prvků následující: ^{[1], [12]}

Tabulka 2 Zastoupení prvků rudonosné struktury Ložiska ZH- Západ, převzato a upraveno podle [6]

Prvek	%
Zn	1,2- 1,9
Pb	0,2- 0,5
Cu	0,05- 0,16
Ag	0,6- 2,8

Přítomnost zlata v ložisku západ byla zjištěna jen v některých částech, proto může být jakýkoli procentuální odhad vztažený na oblast ložiska velmi zkreslující. Obrázek 7 představuje řez ložiskem ZH- západ a lokalizuje jednotlivá rudní tělesa.

Z obrázku je patrná značná mocnost vrstvy metatufitů, tedy kyselých metavulkanitů, tvořících nadložní část. V podloží naopak nalezneme muskovitisko-kvarcitické břidlice. Východní částí rudního tělesa důlního díla potom prochází silná kvarcitová vrstva, na kterou navazuje opět rudní těleso.^[1]



Obrázek 7 Geologický řez rudním tělesem ZH- západ, převzato a upraveno podle [1]

4.2.2 Zlaté Hory- Východ

Z hlediska druhu hornin se jedná původně o sedimenty, které jsou postupně s přibývajícím hloubkou obohacovány vulkanickými složkami. Tímto způsobem přecházejí do kvarceratofyrových páskových metotufitů. V nadložních vrstvách rudonosných kvarcitů je krystalický vápenec, již zmíněné Modré štoly, o mocnosti 0,1 – 0,6 m.^[1]

Dominantou je polymetalické zrudnění, s mocností od 3 do 30 m a délkou 350- 400m, vázané na muskovitické a rohovcovité kvarcity. Zastoupeny jsou horniny chalkopyrit, sfalerit, pyrit a galenit. Rudy obsahující olovo a zinek se nacházejí spíše v svrchních vrstvách útvaru a rudy mědi ve spodních. S přibývajícím hloubkou se rudní zóna začíná členit na čočkovitá tělesa s převažujícím obsahem zinku a olova.^{[1], [9]}

Procentuální koncentrace kovových prvků těžených na přelomu 80. a 90. let 20. století v oblasti ZH- Východ: ^{[1], [9]}

Tabulka 3 Zastoupení prvků rudonosné struktury Ložiska ZH- Východ, převzato a upraveno podle [1]

Prvek	%
Zn	1,23
Pb	0,31
Cu	0,31
Ag	0,28

4.2.3 Zlaté Hory- Jih

Charakteristickým složením ložiska je přítomnost monometalických rud mědi v její spodní subzóně. Svrchní subzóna podlehla erozi, přičemž v její jižní části došlo k vytvoření dvou struktur- ZH- Jih (východní část) a ZH- Hornické skály (západní část). Obě části ZH-Jih se vyvinuly v poloze kvarcitů a částečně taky příkontaktních břidlic. ^{[1], [9]}

Nalezneme zde dva typy rudních těles: ^{[1], [9]}

- Příkontaktní tělesa přítomna v chlorit- muskovitových břidlicích na kontaktu s kvarcity nadloží a podloží. Dominantní horninami jsou zde hrubozrnné pyrity a chalkopyrity.
- Tělesa typu Katanga (vnitřní tělesa), strmě probíhají tělesem kvarcitů. Vznik je přisuzován metamorfní mobilizací rud. Horniny, které zde nalezneme, jsou pyrotin a chalkopyrit.

Průměrné procentuální zastoupení mědi v obou částech ložiska ZH- Jih se pohybuje v rozmezí od 0,6- 1,0 %. ^[1]

4.2.4 Zlaté Hory- Hornické skály

Ložisko tvoří zrudnění sulfidického typu vázané na polohu kvarcitů Příčných hor s mocností 10- 60 m. Rudní tělesa se nalézají na kontaktu kvarcitů a vně nebo uvnitř břidlic. Nejmhutnější těleso této oblasti je tvořeno horninami pyrit, chalkopyrit a chalkozín. V menším množství jsou zastoupeny horniny sfalerit a galenit. Těleso se nachází v podložních břidlicích, má čočkovitý tvar a jeho mocnost je 6- 25 m, směrná délka 200m s texturou masivně pásková. Obsah mědi v ložisku těžených na přelomu 80. a 90. let 20. století je průměrně 0,43 %. ^{[1], [12]}

4.2.5 Zlaté Hory- Heřmanovice

Ložisko Heřmanovice je nejjižněji situované polymetalické pásmo s výskytem Cu, Zn a Pb rud, které však dosud nebylo těženo. Z hlediska hloubky se jedná o nejhlouběji položený rudní útvar. Setkáme se zde s mineralizací Pb- Zn rud ve svrchní části rudní zóny a mineralizací Cu ve spodní části rudní zóny. Mocnost tělesa dosahuje až 250 m, šířka 150-500 m. Z důvodu velké hloubky nebyla dosud zjištěna její směrná délka. Další z charakteristik je přítomnost zlata a stříbra, ovšem v nízkých koncentracích. ^{[1], [12]}

4.3 Charakteristika rud oblasti Zlaté Hory

V oblasti Zlatých Hor nalezneme celou řadu rud obsahujících zájmové minerály a kovové prvky. Především se jedná o Cu, Zn, Pb, Ag a Au. Společně s dalšími prvky tvoří ekonomicky zajímavé rudní tělesa. ^[13]

- **Vulkanosedimentární ložiska Cu, Cu-Pb-Zn, Cu-Zn rud** ^[13]

Jedná se o rudy povětšinou ovlivněné metamorfózou, která změnila jejich morfologii a stavbu zrn. Tělesa mívají zpravidla charakter různě deformovaných čoček, mají páskovou strukturu primárního nebo metamorfního charakteru. Bohaté rudní ložiska mohou obsahovat až 60 obj. % sulfidů. Nejhojněji bývá zastoupený minerálem pyrit, hlavním užitkovým nerostem je chalkopyrit, méně potom sfalerit a galenit (Hornické skály), pyrrhotin (jih). Rovněž v menších koncentracích nalezneme drahé kovy –Au, Ag. Z minerálů hlušin třeba jmenovat křemen, kalcit, dolomit a baryt. Rudy mědi vulkanosedimentárního původu nalezneme v oblastech ZH- Jih(chalkopyrit) a ZH- Hornické skály. V druhé polovině byly těženy tyto nerosty s průměrným obsahem Cu 0,43% Cu v Hornické skále a 0,6- 1,0 % Cu v ZH-jih.

- **Vulkanosedimentární ložiska Pb-Zn a Cu-Pb-Zn rud** ^[13]

Ložiska tohoto typu rud jsou velmi podobná výše zmíněným Cu, Cu-Pb-Zn, Cu-Zn rudám. Nejhojněji se vyskytujícím minerálem je pyrit, hlavním užitným minerálem je sfalerit, galenit, méně chalkopyrit a ryzí zlato. Hlušinu tvoří křemen, baryt, karbonáty- kalcit, dolomit. Jedná se o lokalitu ZH- Hornické skály, ZH- Hih, ZH- Východ a ZH- Západ.

Veškerá ložiska sulfidických rud nacházející se v regionu Zlatých Hor nalezneme v horizontu kvarcitů Příčné hory, v jejím blízkém nadloží a podloží. Zrudnění je tvořeno masivními a vtroušenými rudami pyritu, chalkopyritu, sfaleritu, galenitu, pyrhotinu. Z ryzích kovů třeba jmenovat ryzí zlato přítomné v ZH- Západ. ^[13]

Z hlediska novodobého rudního dobývání Zlatohorní oblasti bylo mezi lety 1965 a 1993 vytěženo:

Tabulka 4 Množství vytěženého kovu (t), převzato a upraveno podle [1]

Kov	t
Cu	3507840
Zn	9023
Pb	395
Ag	0,746

Množství zlata vytěženého v poslední fázi mezi lety 1991 až 1993 je 1,524 t. ^[14] Celkové množství vytěženého zlata od roku 1793 (konec historické etapy dobývání) je 5,089 t. Odhady se mohou lišit, proto je možné rovněž uvažovat o množství až 6 t, opírající se o nevyloučitelnost jevu bonanz. ^[1]

4.4 Složení Zlatohorních rud

Zlatohorní rudy z mineralogického hlediska disponují více než stem různých druhů minerálů, přičemž se jedná o jedno z nejrozmanitějších nalezišť na území České republiky. Celý revír je vyplněn nekонтрастními rudními tělesy sulfidických rud s převahou pyritu. Následující výčet minerálů obsahuje nejpodstatnější minerály podle hojnosti výskytu v ložiscích a rovněž podle charakteru užité nebo odpadní složky. ^[1]

4.4.1 Užité složky

- **Chalkopyrit** (CuFeS_2)- společně s pyritem (FeS_2 , nejhojnější materiál ZH) a pyrhotinem (FeS) tvoří významné monometalické rudniny ložiska. Procentuální zastoupení prvků v chalkopyritu je 34,94 % S, 34,63 % Cu a 30,43 % Fe. Jedná se o nejdůležitější zdroj Cu v ložisku. Rovněž se jedná o důležitou rudninu s výskytem Au a Ag. Tento druh mineralizace se nachází především ve spodních částech ložisek. ^{[1], [10]}



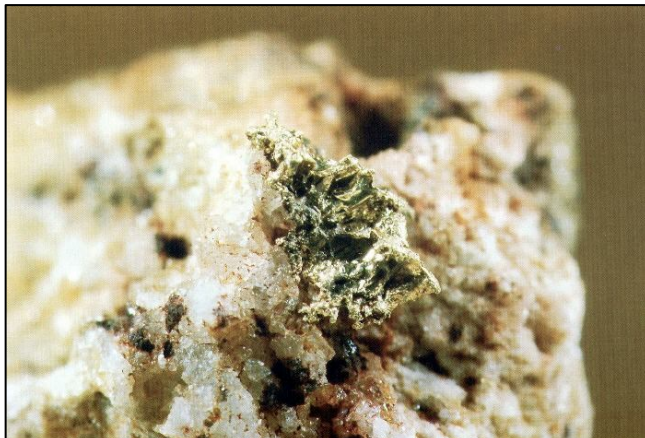
Obrázek 8 Chalkopyrit, HZ- Hornické skály, převzato a upraveno podle [1]

- **Sfalerit** (ZnS)- nejdůležitější zdroj zinku v ložisku. Procentuální zastoupení prvků 67,06% Zn a 32,94 % S. Je druhým nejčastějším minerálem v ložisku. Na rozdíl měďnatých mineralizací se rudy s obsahem zinku vyskytují ve svrchních částech revíru, spolu s mineralizací olovo (Galenit).^{[1], [10]}
- **Galenit** (PbS) – významný zdroj olova v ložisku, především ZH- Východ a Západ. Obsahuje 86 % Pb a 14 % S, rovněž je významným koncentrátorem stříbra, je schopen obsahovat až 1% Ag. Jeho historické těžby započaly právě kvůli vysoké pravděpodobnosti obsahu stříbra.^{[1], [10]}
- **Měď** (Cu)- Cu mineralizace jsou nejčastěji situované ve spodních částech ložiska. Těženo je jako součást sulfidických rud (chalkopyrit).



Obrázek 9 Cu, HZ- Hornické skály, převzato a upraveno podle [1]

- **Zlato** (Au)- v ryzí podobě ojediněle. V posledních etapách těžby bylo těženo spolu s chalkopyritem, sfaleritem a pyritem. Dnešní výskyt zlata je spojen s ložiskem ZH- Západ. V pyrit-sfaleritové rudnině tvoří malé zlatinky, velikosti pod 1mm. Zlato vysoké ryzosti je spojeno s rudninou kombinace pyrit-křemen.^{[1], [10]}



Obrázek 10 Au, zlatinka ZH- západ, převzato a upraveno podle [1]

4.4.2 Hlušínové složky

- **Křemen** (SiO_2)- Křemen je objemově nejvýznamnější hlušinou. Na kontaktních plochách křemene a pyritu jsou situovány akumulace zlata. Z minulosti jsou známy četné nálezy akumulací zlata ve valounech křemene. ^{[1],[10]}
- **Kalcit** (CaCO_3), **Dolomit** ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)- zástupci karbonátů se vyskytují u okrajů křemenných žil, doprovázeny sulfidickými rudami pyritu a chalkopyritu. ^{[1],[10]}

5 FLOTAČNÍ ZÍSKÁVÁNÍ MĚDI

Tato kapitola se zabývá volbou flotační metody z hlediska výběru reagensů a rovněž předúpravou vzorku, která vede k otevření minerálních zrn a efektivnější flotovatelnosti materiálu. Následující podkapitoly poskytují informace a zkušenosti z laboratorních flotací mědi. Jsou zde popsány 2 rozdílné metody flotace, přičemž první se soustředí na zvýšení koncentrace mědi v pěnovém produktu. Druhá na flotaci křemene (vysoká koncentrace) do pěnového produktu, která je cílena na zvýšení koncentrace mědi ve flotační cele po dokončení flotace neboli obrácená flotace. Kapitola je založena na základě informací získaných pomocí mineralogických a prvkových analýz popsaných v kapitole 6.1.

5.1 Flotace mědi pyritových a chalkopyritových rud

Tato studie napomohla při volbě úpravy vzorku před samotnou flotací. Možnosti laboratoře VŠB- TUO poskytly přijatelnou alternativu síta o velikosti 71 μm , tedy zrnitost, která se nachází v rozmezí 53 a 75 μm . Práce napomohla jako příklad postupu flotačního procesu, který slouží k získání Cu koncentráту.

V této zkušební práci byla použita porfyrická měděná ruda s majoritním zastoupením chalkopyritu jako minerálem obsahujícím Cu a obsahem pyritu, jako jediným sulfidickým minerálem. Vzorek byl dodán firmou Konnecott Utah Copperton Cencentrator v USA. Z mineralogického hlediska vzorek obsahoval 1,5 % chalkopyritu, 1,8 % pyritu, 36,7 % živců, 24,4 % slídy a 30,2 % křemene.^{[15], [16]}

Rozdrcená zrna velikosti pod 2,4 mm byla smíchána a promíchána pro vytvoření jednotlivých vzorků materiálu o hmotnosti 2 kg. Následné drcení vzorku zajistilo zrnitost pod 220 μm pro dosažení podmínek průmyslové flotace provozu. Pro úpravu pH byly dále využity 2 kg vzorku, namleté v mlýnu z nerezavějící oceli spolu s 1,8 g vápna a přidáním 2 dm³ H₂O. Mletí probíhalo po dobu 12 minut. Takto upravený vzorek výsledně vykazoval průměrné pH v rozmezí od 9,4 po 9,8. Na základě úpravy vzorku mletím byla výsledná zrnitost následující.^[15]

Tabulka 5 Velikosti a koncentrace frakcí vzorku po mletí po dobu 12 minut, převzato a upraveno podle [15]

Velikost frakce (μm)	Zastoupení velikosti zrn (%)	Hm (%) Cu frakce
-20	15,8	0,47
20 - 38	6,9	0,61
38 - 53	5,5	0,8
53 - 75	7,7	0,59
75 - 105	10,3	0,54
105 - 150	11,5	0,4
150 - 210	14,7	0,36
210 - 300	12,8	0,3
300	14,8	0,22
Suma	100	0,43

Z tabulky 7 vyplývá, že hmotnostně nejzastoupenější frakcí je frakce pod 20 μm tady nejjemnější částice. Koncentrace mědi však odpovídá 0,47 hm% frakce vzorku. Na základě

zrnitosti frakce lze konstatovat, že koncentrace mědi je nejvyšší u frakce velikosti zrn řádů desítek mikrometrů. Nejvyšší koncentrace mědi je sledována u vzorku zrnitosti 38- 53 μm [15], [16], [17]

Flotační testy probíhaly ve flotačních celách o objemu 5 dm^3 . 2 kg vzorku byly kvantitativně převedeny do cely a doplněny do objemu 5 dm^3 , aby vznikl 30% hmotnostní koncentrát (2/3 vody, 1/3 vzorek). Vápnem došlo k další úpravě pH na hodnotu 10. Jako sběrač byl použit dikresyl dithiofosfát sodný, DTP (S8989), jako pěnič methyl isobutylkarbinol (MIBC). Dávkování pěniče bylo 37,5 g t^{-1} na (60 μl). Množství sběrače se lišilo podle testu, 2, 15, 30 a 40 g t^{-1} . Agitace pěniče a sběrače činidla 1 min. Koncentráty byly odebírány v čase 1, 3, 5 a 8 min. [15], [16]

Ve všech případech nehledě na množství kolektoru bylo nejvyšší efektivity sběrače dosaženo u zrnitosti 53 – 75 μm s dávkou sběrače 2, 15 a 30 g t^{-1} .

5.1.1 Postup zisku Cu koncentráту pěnovou flotací

Obohacování sulfidických měďnatých rud je používáno u materiálů, jejichž oxidovaná forma nepřesahuje množství 10- 15% rudy. Základní problematikou zisku koncentráту mědi je oddělení materiálu od hlušiny, kterého je dosahováno především flotačními metodami. Sulfidy měďnatých minerálů se vesměs získávají flotačně za přítomnosti zásaditého prostředí, které je získáváno přidáním vápna. Z předpokladu, že se ve flotovaném materiálu nachází pyrit, je přidání vápna vhodné právě pro jeho potlačení. Jako sběrač sulfidických rud obsahujících měď (chalkopyrit) jsou vhodné látky xantogenany a aerofloty. Jako vhodné xantogenany slouží ethyl, isopropyl, butyl a amyl xantogenan. Vhodný zástupce aeroflotu je kupříkladu aeroflot 238. [18], [19]

Z hlediska mineralogické charakteristiky hornin je možné monometalické sulfidové rudy rozdělit do dvou skupin: [19]

- Rudy obsahující minerály Cu v rozptýlené formě- základním problémem je zde oddělení minerálů Cu od hornin, které je tvoří. Tento typ hornin se vyznačuje větší jednoduchostí procesu obohacení. Jako příklad lze uvést porfyry (chalkopyrit, chalkozín) a pískovcové měděné rudy. Porfyrické rudy mohou obsahovat zároveň určité množství Au a Mo, které lze flotovat zároveň s minerály Cu. Charakteristické

pro tyto rudy je nízký obsah Cu, který zpravidla nepřesahuje koncentraci 1 hmotnostního %.

- Pyritové rudy obsahující měď- hlavní potíž obohacení je oddělení měďnatých nerostů od sulfidů železa

Obohacování porfyrických měděných rud je prováděna při pH 8-9. Za předpokladu nevhodného pH je možné jej upravit přidáním vápna, množství $1,5 \text{ kg t}^{-1}$. Obsah mědi v surové rudě nepřekračuje 1 hm%. Obohacený koncentrát může obsah až 31 % Cu a 1,8 % MoS_2 (výtěžnost 90%), za předpokladu, že jsou využity reagenty NaCN ($0,05 \text{ kg t}^{-1}$), aeroflot sodný ($0,01 \text{ kg t}^{-1}$) a aromatické látky, například kresol ($0,025 \text{ kg t}^{-1}$). Tento postup zajišťuje setrvání zlata ve flotační cele. Získáváno je gravitačními metodami rozduřování s přímým vodním proudem. Příprava vzorku je technologicky méně náročná než u pískovcových rud, jelikož pro samotný proces flotace postačí velikost zrn s průměrem pod 2,4 mm. ^{[19], [18]}

Pískovcové rudy jsou obvykle bohatší oproti porfyrickým rudám, koncentrace mědi se pohybuje v rozmezí od 1,5 % do 12 %. Minerály mědi bývají zpravidla chalkopyrit nebo chalkozín. Porovnáme-li proces získávání měděného koncentráту, jedná se o složitější děj. Složitější děj především z hlediska nerovnoměrného rozložení užitečných složek. Vhodná před úpravou minerálních zrn v tomto případě je charakterizována zrnitostí od 0,8 mm do 0,074 mm. Pro uvolnění sulfidických minerálů obsahujících měď je však potřeba tato zrna dále upravit na zrnitost pod $74 \mu\text{m}$. Vhodné pH procesu je stanoveno na 7,8- 8,1. Flotační činidla s vysokou účinností jsou ethylxantogenat (sběrač) v množství 18 g t^{-1} , borovicový olej (pěnič) v množství 30 g t^{-1} a síran sodný (depresor křemene) v množství 65 g t^{-1} . Získaná koncentrace Cu je 50 až 62% s výtěžností 91- 92%. ^{[18], [19], [20]}

Zde popsany postup flotace za účelem získání produktu s navýšenou koncentrací mědi (sulfidických měďných minerálů) sloužil k rozhodnutí pro volbu flotačního postupu. Především bylo přihlédnuto k správné volbě úpravy vstupního materiálu (úprava zrnitosti), flotačních činidel (sběrač, pěnič) a podmínek flotace (pH, flotační čas).

Na základě bližšího výzkumu byla vybrána jednotlivá flotační činidla. Rozhodujícími faktory pro výběr bylo složení materiálu. Následující část práce obsahuje

souhrn v minulosti prováděných flotačních testů pro získání koncentráту s navýšením obsahem Cu rud.

- **Dexing měděný důl provincie Jiangxi v Číně**

Testovaným materiálem jsou porfyrické rudy mědi s obsahem molybdenu čínské provincie Jiangxi, obsahující chalkopyrit, chalkozín a další. Hlavními železnými minerály jsou pyrit a markazit. Tato studie se rovněž zabývá získáním koncentráту Mo, který však není předmětem diplomové práce a bude vynechána. Významný je také podíl nesulfidických minerálů jako křemen, sericit, chlorit a uhličitany. Základem této práce byly dva rudné vzorky. Prvním typem je běžná ruda s obsahem CuO 4,12% (0,422 % Cu; 2,24 % S; 4,35 % Fe; 0,334 Au; 1,01 % Au; 0,0085 Mo). Drahý typ rudy je tzv. vysoce oxidovaná ruda s obsahem CuO 13,26 % (0,445 % Cu; 1,21 % S; 4,07 % Fe; 0,286 Au; 0,95 % Au; 0,0077 Mo). Oba vzorky byly odebrány z různých ložisek. ^{[21], [22], [23]}

Příprava 1 kg rudy začala mletím v kulovém mlýnu o průměru těles 240- 90 mm. Výsledná zrnitost byla 0,076 mm pro 65 % materiálu. Flotace probíhala v XMQ flotační cele s vlastním přívodem vzduchu s objemu 1 l. Pro úpravu pH (zásadité) bylo během agitační doby 3 minuty do cely přidáno vápno za konstantního míchání při otáčkách 1500 otáček. Po uběhnutí agitační doby byl spuštěn přívod vzduchu a flotace probíhala 4 minuty. Flotace vysoce oxidované rudy při pH 7,5 o velikosti částic 65 % při velikosti 0,076 mm při využití kolektoru ne thiolového charakteru a thiolového charakteru. Výsledky flotace ukazují, že pěniče, borovicový olej, C5-C8 alkoholu (F-111) a diethyl ftalát, jsou vhodné. Cyklus flotace mědi probíhal se sběračem PECRU (N-propyl-N-ethoxycarbonyl- thiomocovina) v dávce 6 g^t⁻¹ a kolektorem SBX (butyl xantát sodný) v dávce 20 g^t⁻¹, pH 10,5 upraveno vápnem. Při selektivní flotaci mědi bylo využito sběrače SBX (butyl xantát sodný) v dávce 55 g^t⁻¹, pěnič C5-C8 alkoholu (F-111) v dávce 15 g^t⁻¹ při pH 13 upraveného vápnem. ^[21]

Za těchto podmínek bylo možno získávat během flotačních testů ze vzorku o koncentraci mědi 5,16 % koncentrát s obsahem této mědi až 92,28 % z původních 5,16 % Cu ve vzorku. ^{[21], [22]}

- **Adsorpce Carboxymethylcellulose (CMC) jako sběrač sulfidických rud při flotaci**

Vzorek chalkopyritu pochází z Durango, Mexiko. Tato studie se zabývá mikroflotací rudy s obsahem chalkopyritu a galenitu (PbS). CMC jako flotační činidlo při flotaci má depresní účinky na PbS a může tady docházet k účinku sběrače, který byl ethylxantogenan sodný vysoké čistoty. Příprava vzorku započala úpravou zrnitosti na v rozmezí 0,045-0,075 mm. CMC jako depresor byl použit v charakteristice čistoty 99,9 % s molekulovou hmotností 80000 g mol^{-1} . [24], [25]

Při mikroflotaci byly pozorovány selektivní depresní účinky PbS při použití CMC, což vedlo k lepší flotovatelnosti chalkopyritu sběračem ethylxantatem sodným. Pro úpravu pH sloužily látky HCl a NaOH, pH procesu bylo 5. Pro flotační test bylo použito 100 ml vody spolu s požadovaným množstvím depresoru, sběrače a hydroxidu vodíku (H_2O_2). Flotovatelnost chalkopyritu se mírně zvyšovala se zvyšující se koncentrací CMC, jako depresoru PbS, v dávkách 2- 10 mg l^{-1} . Klíčovou látkou pro optimální funkčnost CMC depresoru byl H_2O_2 , bez kterého i při zvyšující se koncentraci CMC nedocházelo k depresi PbS a vstupoval do produktu spolu s chalkopyritem. Jako plyn nebyl použit atmosferický vzduch, nýbrž dusík. [24], [25]

- **Vliv pěny na průběh flotace**

Tato studie byla vybrána pro svou volbu úpravy vzorku před flotací a výběr flotačních činidel. Přesto, že se níže popsaná studie zabývá vlivy a faktory ovlivňujícími pěnovou flotaci metalických rud, je tato práce vhodná pro získání tížených informací pro diplomovou práci.

Pro flotaci byla vybrána surová chalkopyritová ruda původem u firmy Geo Discoveries a silikáty původem z Sibelco Australia o zrnitosti 0,073 mm. Před každým flotačním testem došlo k úpravě zrnitosti chalkopyritu v rozmezí od 0,020 mm do 0,110 mm, s obsahy Cu 0,2- 1,8 %. Takto připravené vzorky byly zředěny s běžnou kohoutkovou vodou oblasti Brisbane. Zahuštění flotačního rmutu bylo 40 hm.% pevných částic, což představuje 8 kg směsi křemičitanů s chalkopyritem a 12 l vody. Flotační cela měla objem 20 l. Jako činidlo sběrač byl využit ethylxantát sodný a pěnič Dowfroth 250 14,7 ppm. [26], [27], [28]

- Flotace důlních vod jako metoda zisku koncentráту mědi

Tato práce se zabývá metodou zisku měděného koncentrátu z odpadních vod po důlní činnosti na Zlatohorním ložisku. Pro flotaci bylo využito 225 g vzorku s okolo 80 % vody, což odpovídá 30 g suchého vzorku. Flotace probíhala ve 3 typech pH prostředí- kyselé pH 2,6; zásadité pH 9,1 a neupravené pH prostředí. Vzorek sedimentu byl smíchán s 800 ml nedestilované vody a promíchán v kuchyňském mixéru pro lepší rozptýl zrn. Upravený vzorek byl převeden do flotační cely. Dále byly přidány kyseliny a zásady pro úpravu prostředí, agitace 5 minut. Jako reagenty byly použity sběrač ethylxanthogenan draselný o koncentraci g t^{-1} a pěnič 0,078 g. Po agitaci činidel 300 s byla provedena 900 s flotace.

Ethylxanthogenan draselný v koncentraci 100 g t^{-1} a dále 5 kapek borovicového oleje, pomocí kapátka. Vzorek zůstal podroben agitaci po dobu 300 sekund s následnou flotací 900 s. [6]

5.1.2 Postup zisku Cu koncentrátu obrácenou pěnovou flotací

Jak již bylo zmíněno, tato práce se bude zabývat dvěma metodami flotace. Tou druhou je obrácená flotace, kdy je proces cílen na flotaci nežádoucích složek do pěnového produktu. Vzhledem ke koncentraci křemene téměř 70 % se obrácená flotace soustředí na extrakci křemene do pěnového produktu a setrvání měděné složky ve flotační cele. Toho bude docíleno použitím odlišných flotačních reagentů, které byly vybrány na základě níže zmíněných experimentů.

- Flotační separace kasiteritu a křemene oleátem sodným

Křemen je primárním hlušinovým minerálem spojeným s cínovými minerály. Flotovatelnost křemene je velmi slabá napříč celým rozsahem pH za přítomnosti oleátu sodného jako sběrače. Jeho aktivace je možná kovovými ionty jako například Pb, Fe a Ca. [29], [30]

Vzorek horniny pochází z provincie Yunnan v Číně. Příprava vzorku zahrnovala ruční drcení na velikost zrn 0,038- 0,02. Testy probíhaly mikroflotací se 2 g vzorku ve flotační cele o objemu 40 ml s neionizovanou vodou. Pro úpravu pH sloužily HCl a NaOH, obě v koncentraci $0,1 \text{ mol l}^{-1}$. Jako iontový sběrač sloužil oleát sodný v koncentraci $4 \cdot 10^{-4} \text{ mol l}^{-1}$, CaCl_2 byl do procesu přidán jako zdroj vápenatého kationtu (aktivátor) v koncentraci

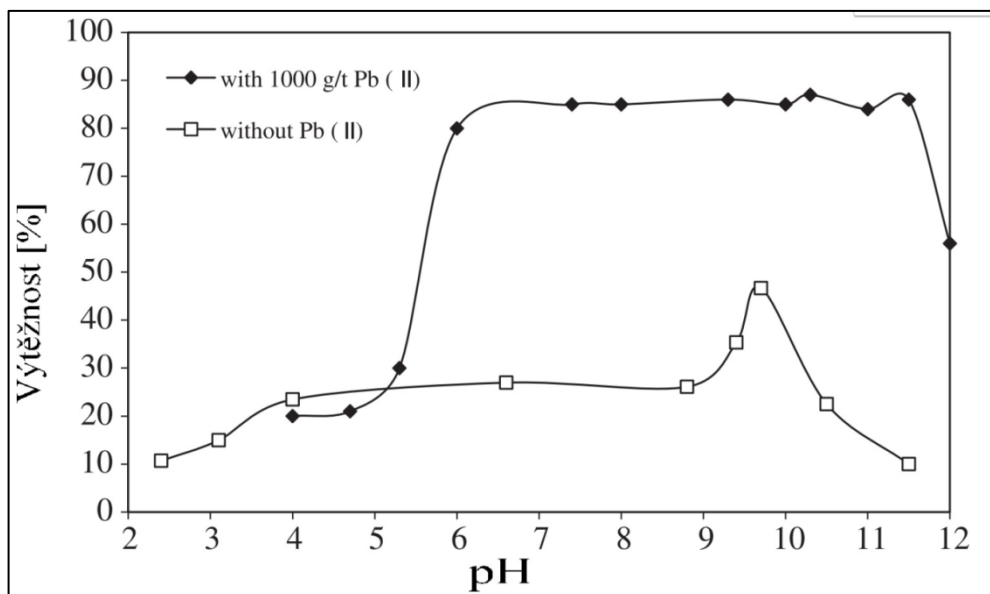
$5 \cdot 10^{-4} \text{ mol l}^{-1}$. Agitace Ca^{+2} iontu trvala 180 s. Z výsledků je patrné, že nejvyšší účinek Ca^{+2} iontu byl při pH 9- 11. [29], [31], [32]

- **Selektivní flotace smithsonitu, křemene a kalcitu**

Vzorek kalcitu a křemene pochází z provincie Hunan, Čína. Vzorek smithsonitu z provincie Yunnan, Čína. Jako předúprava byl vzorek drcen na velikost zrn v rozmezí 0,038- 0,074 mm. Chemická analýza ukázala, že tyto tři minerály se vyskytují v 90 % vzorku. Mikroflotace probíhala ve flotační cele 40 ml po dobu 4 minut, při otáčkách 1600 ot/min. Pro úpravu pH sloužily HCl a NaOH. Sběrač alykyldiamine ether (GE-609) byl pro mikroflotaci dávkován 25 mg l^{-1} . Ideální pH se pohybuje pro flotaci křemene je v rozmezí od 6 do 11. V této studii byl použit sulfid sodný (Na_2S) jako inhibitor křemene, GE-609 je schopen se navázat a flotovat všechny 3 výše zmíněné minerály. Předpokladem proto je, že nebude-li použit inhibitor křemene, při pH 6-11 je možno využít tohoto procesu pro flotaci křemene. [33], [34], [35]

- **Selektivní flotace smithsonitu a křemene za přítomnosti kyseliny olejové a iontu Pb^{+2}**

V této studii je využita smithsonitová ruda z Angooran dolu v Íránu. Čistý smithsonit pochází z oblasti Angooranu v Íránu. Rovněž bylo využito křemene s čistotou 99 %. Po aplikaci XRF metody vyšlo najevo, že vzorek původem z Angooran dolu obsahuje 15.8 % ZnO, 23.75 % SiO_2 , 19.8 % CaO, 8.5 % Al_2O_3 , 3.15 % Fe_2O_3 a dalších minerálů v nižších koncentracích. Vzorek byl rozdrcen na velikost zrn o velikosti 0,150- 0,075 mm. Flotace probíhala v Hallimondově trubici o objemu 300 ml s kontinuálním přívodem vzduchu. Navážka vzorku byla 3 g, doba flotace 15 minut. Při flotaci za přítomnosti olovnatého kationtu bylo využito PbCl_2 v množství 1000 g t^{-1} jako aktivátor křemene a 500 g t^{-1} kyseliny olejové jako sběrače. [36], [37]



Graf 1 Flotace křemene za přítomnosti Pb^{+2} iontu a kys. olejové 500 mg.t-1, převzato a upraveno podle [36]

Z grafu 1 je zřejmé, že využití olovnatého kationtu je opodstatněné, protože od pH 6 do pH 11,5 je výtěžnost křemene téměř 90 %. Bez využití aktivátoru křemene je výtěžnost křemene okolo 30 %, 50 % při pH 9-10.^[25]

6 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část práce se nejprve zabývá zjištěním charakteru sedimentu. Pro zjištění mineralogických a chemických vlastností byla v první řadě zvolena patřičná úprava vzorku vhodná pro úspěšnou analýzu. Analýza probíhala ve 3 krocích: mineralogická analýza, prvková analýza a kontrolní prvková analýza. Mineralogická analýza přitom sloužila jako předběžný test pro ověření geologických podmínek v oblasti vzniku sedimentu. Prvkové analýzy prováděné na měřiči XRF DELTA PROFESSIONAL potom s vysokou přesností určily procentuální zastoupení kovů ve vzorku. Analýza prokázala výskyt Cu, Zn a Fe v koncentraci na 3,95 %. Drahé kovy jako Au a Pt byly naměřeny ve stopovém množství. Pro flotační testy byla zvolena měď. Flotační testy byly vybrány na základě dostupné tuzemské a světové literatury, popsané v kapitole 5. Po uskutečnění flotačních testů byly výsledky vyhodnoceny a jednotlivé metody porovnány.

6.1 Úprava sedimentu a charakteristika sedimentu

Zájemový sediment lze charakterizovat mnoha hledisky. Mezi jeho makroskopické vlastnosti patří tmavě hnědá barva a silně mazlavý charakter s velikostí zrn pod 0,5 mm. Tmavě hnědé zbarvení je doprovázeno viditelným leskem, což je pravděpodobně způsobeno vysokým podílem vody. Při úpravě sedimentu pro experimentální část probíhaly mineralogické testy a testy kovnatosti, při kterých byl materiál zcela vysušen a lesk sedimentu již nebylo možno dále pozorovat. Vzorek nevysušeného sedimentu je možno vidět na obrázku 11.



Obrázek 11 Nevysušený vzorek sedimentu

6.1.1 Úprava sedimentu

V sedimentu je možné ojediněle nalézt větší zrna. Je podobný pískovým abrazivům. Vzhledem k vysokému podílu vody je možno sediment lehce kvartovat a dále upravovat a zkoumat. Díky úpravám pH sedimentu před uskladněním v patřičných prostorách je pH lehce zásadité, bylo naměřeno pH 7,8.

Pro zjištění charakteru sedimentu pocházejícího z důlních vod Zlatohorského rudního revíru bylo zapotřebí materiál v první řadě vysušit. Sušení probíhalo po dobu 20 hodin v univerzální laboratorní sušárně značky Memmert- UF 110^{PLUS} při teplotě 105 °C. Aby bylo dosaženo absolutního vysušení sedimentu, proběhlo po uplynulých 20 hodinách kontrolní vážení vzorku s následným zpětným vložením do sušárny po dobu 45 minut. Po uplynutí této doby proběhlo druhé vážení, dokud se hmotnost vzorku nezastavila na

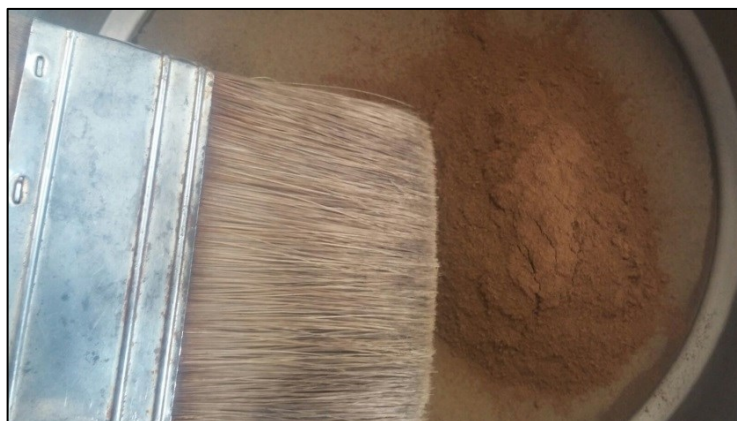
stálé hodnotě. Díky sušení bylo zjištěno, že se ve vzorku sedimentu vyskytuje průměrně 81,26 % vody.

Poslední krok před předáním vzorku sedimentu na mineralogickou a prvkovou analýzu bylo drcení vzorku na zrnitost pod 71 μm . Tato zrnitost byla vybrána na základě dříve probíhajících studií (viz kapitola 5) na toto téma a technologických možností laboratoře univerzity. Mletí probíhalo v laboratorním mlýně s oválnými, otěru odolnými, mlecími tělesy, po dobu 30 s (viz obrázek 12).



Obrázek 12 Mlýn (vlevo), mlecí tělesa (vpravo)

Pro získání zrnitosti sedimentu pod 71 μm bylo využito síť s velikostí ok pod 71 μm . Pro rychlejší propad zrn bylo využito štětce a kontinuálního otáčení síťové plochy pro neustálé promíchávání vzorku (viz obrázek 13).



Obrázek 13 Sítování, velikost ok 71 μm

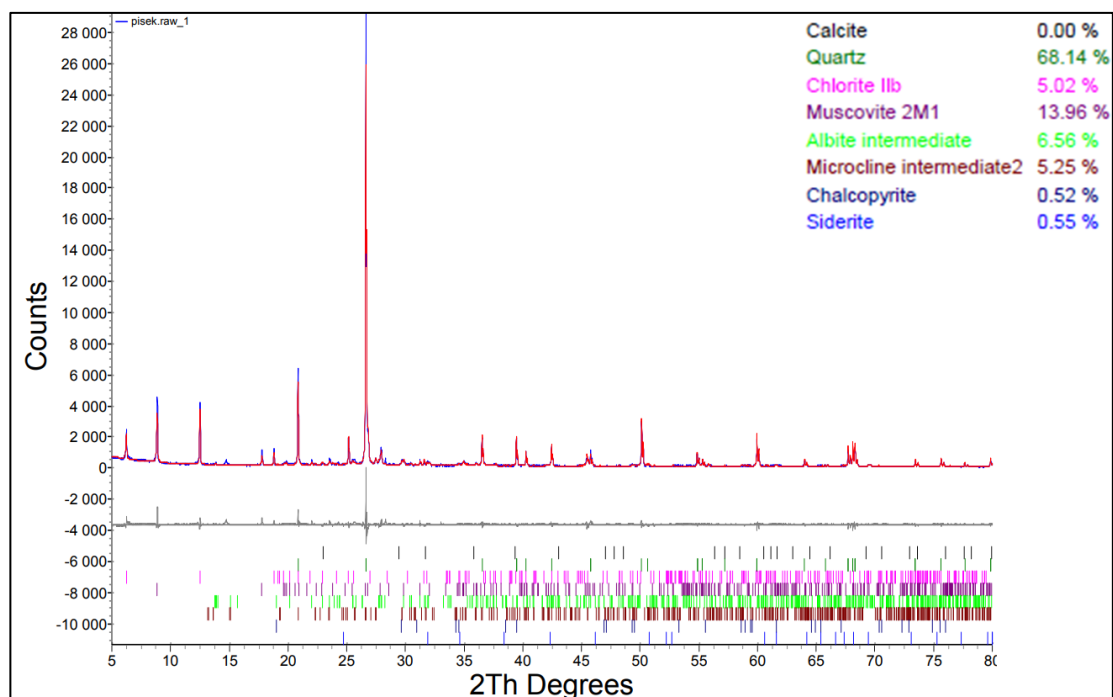
Stejný postup úpravy sedimentu je volen v obou případech nakládání s ním. Jedná se o úpravu vzorku pro zjištění mineralogického a prvkového složení. Tato analýza slouží k bližšímu nalezení podstaty chování při flotaci. Druhým druhem nakládání s materiálem jsou samotné flotační postupy.

6.1.2 Mineralogické a prvkové složení sedimentu

Na základě přípravy sedimentu sušením a mletím bylo posléze možné provést zmíněné analýzy, na základě kterých byly vybrány flotační metody, uvedené v následující kapitole a klíčové pro experimentální část.

Mineralogické složení vzorku bylo zjišťováno na analytickém pracovišti VŠB- TUO, na pracovišti pro kvantitativní složení vzorků krystalických materiálů. Využívá se zde Rietveldova analýza difrakčních dat. Využitým zařízením je Bruker Advance D8 difraktometr s lineárním polovodičem LynxEye a energiově disperzním detektorem SOL-XE. ^[38]

Díky mineralogické analýze bylo zjištěno, že majoritní složkou sedimentu je křemen, okolo 68%. Následují minerály muskovit (19, 96%) a albit (6,56%). Níže přiložený graf poskytuje informace o výsledcích testu. Na základě tohoto faktu bylo rozhodnuto provést rovněž analýzu vzorku pro kovnatost.



Graf 2 Mineralogické složení sedimentu, zdroj- autor, Matýšek

Prvková analýza sedimentu probíhala pomocí metody rentgen fluorescenčního zařízení Delta professional. Tento přístroj spojuje ultratenké SDD detektory s velkým rozsahem a výkonnou 4 W trubici dodávající rychlou a přesnou analýzu. Zařízení je rovněž vybaveno ochrannou skříní pro bezpečné měření. Doba jedné analýzy je 1 minuta. Výsledky měření v tabulce č. 5. ^[39]

Tabulka 6 Prvková analýza, XRF DELTA PROFESSIONAL, zdroj- autor

Prvek	%
Cu	3,95
Si	2,59
Ca	12,36
Mn	1,76
Fe	6,04
Al	1,51
Zn	5,79
LE	64,95

Z analýzy vyplývá, že nejzastoupenějším prvkem je Ca, pravděpodobný důvod vysokého obsahu je neutralizace v úpravně sedimentu firmy Diamo. Dalšími kovy jsou Fe, Zn a Cu v koncentracích 6,04 %, 5,79 % a 3,95 %. Z hlediska drahých kovů tato analýza prokázala pouze nízký obsah- 844 ppm Pt a 904 ppm Au. Pro ověření výsledku proběhlo

druhé kontrolní měření se stejným výsledkem. Proto bylo rozhodnuto využití rozdílného přístroje S8 Tiger Bruker pracoviště CPIT.

Rentgenfluorescenční spektrometr S8 Tiger je vlnově disperzní spektrometr. Vzorky jsou ozářeny rentgenovým zářením s 60keV. Pro lepší detekční limity měření probíhá v heliu. Rovněž zde probíhá předúprava vzorku v podobě žíhání, mletí a lisování do tvaru tablety. Součástí zařízení je vyhodnocovací software dostupný v laboratoři pro efektivní diagnostiku vzorku.^[40]

Tabulka 7 Kontrolní prvková analýza sedimentu, zdroj- autor

Složka	%	Prvek	%
Al ₂ O ₃	8,07	Al	4,27
SiO ₂	9,59	Si	4,48
CaO	18,9	Ca	13,51
MnO	5,16	Mn	4
Fe ₂ O ₃	10,7	Fe	7,48
Cu	3,89	Cu	3,89
Zn	7,72	Zn	7,72
Ostatní	35,97	Ostatní	54,65

Z tabulky je patrné, že z hlediska obsahu prvků jednoznačně dominuje Ca (13,51%), což je dáno úpravou pH důlních vod v úpravně firmy Diamo. Součástí výsledku je rovněž pravděpodobná odchylka 10% pro majoritní prvky uvedené v této tabulce a 20% pro minoritní prvky uvedené v kategorii ostatní. Jejich výsledná jednotka je v PPM. Koncentrace drahých kovů pro Pt a Au se téměř nelišila od předchozího měření. Nejatraktivnějším kovem potom zůstává Cu o koncentraci 3,89%. Tato hodnota se liší o 0,06 % oproti předchozímu měření. Kontrolní prvková analýza potvrdila výsledky z prvního testu. Téměř 4 % Cu je koncentrace přijatelná pro snahu o získání obohaceného koncentráту. Na základě prvkových analýz poté byly zvoleny postupy flotace, blíže popsané v kapitole 6.3.

6.2 Úprava vzorku před flotací

Na základě zjištěného charakteru vzorku, popsaného v kapitole 5, bylo dostupnými tuzemskými a zahraničními zdroji (kapitola 6) rozhodnuto pro mletí vzorku na výslednou velikost zrn 71 μm. K dosažení těchto rozměrů sloužil suchý běhounový laboratorní mlýn,

obrázek 12. Dostupné zdroje uvádějí vhodnou zrnitost v širokém rozmezí 20 μm až 150 μm , nejčastěji však zrnitost okolo 70 μm . Díky technologickému zázemí byla vybrána zrnitost 71 μm , která je adekvátní danému experimentu (viz kapitola 5).

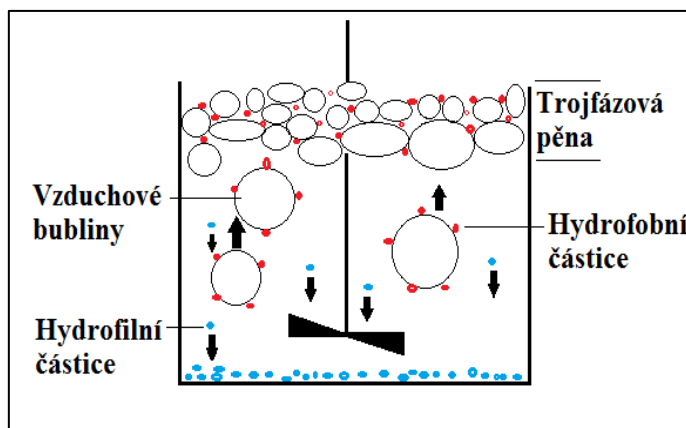
6.3 Obecný postup flotačních metod

Díky zjištěných mineralogických a prvkových vlastností vzorku se tato práce zaměřuje na porovnání dvou rozdílných metod flotace, které budou na základě výsledků flotačních testů porovnány.

6.3.1 Pěnová flotace

Flotace je procesem úpravy materiálu, založený na rozdílných fyzikálně-chemických vlastnostech rozduřovaného materiálu. Tyto vlastnosti jsou charakterizovány různými specifickými energiemi. Ta je dána potenciální energií zrna závislé na velikosti částice a jejího objemu. Druhou energií je energie povrchová, kterou určuje velikost povrchu částice. U povrchové energie je klíčovým faktorem smáčivost zrna, tedy je-li částice hydrofilní nebo hydrofobní. Velikost flotovaných zrn je v obvykle v rozmezí 0,1-0,25 mm. V praxi se se můžeme setkat s flotací podstatně menších zrn, například u flotace metalických rud. Pro flotaci zrn o průměru pod 0,1 mm platí, že se tím podstatně zvětšuje jejich měrný povrch a jejich povrchová energie tak několikanásobně převyšuje hodnotu potenciální energie. ^[1]

Tento heterogenní systém se skládá ze tří fází- pevné, kapalně a plynné. Princip rozduřování tak těžší ze schopnosti různých minerálních zrn přichytit se na fázovém rozhraní tří zmíněných fází a přecházet do pěnového produktu a dalších zrn setrvávat ve flotační cele a tvořit odpadní produkt. Díky těmto vlastnostem minerálních zrn a technologické vyspělosti procesu je možné takto flotovat v podstatě jakýkoli materiál. ^[41]



Obrázek 14 Pěnová flotace, zdroj- autor

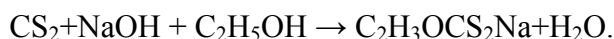
Flotovatelnost minerálních zrn je ovlivnitelná flotačními reagensy, které jednotlivým zrnům dávají specifické povrchové vlastnosti a přímo tak definují zrnům míru jejich smáčivosti (hydrofilnost, hydrofobnost). Takto je možné předem určit, jaký druh minerálního zrna ve rmutu přejde do pěnového produktu flotace a jaký setrvá ve flotační cele jako odpadní produkt. ^[41]

6.3.2 Obrácená pěnová flotace

Princip obrácené flotace je založen rovněž na rozdílných povrchových vlastnostech zrn. Obrácená pěnová flotace je založena na zisku jalových minerálních zrn v pěnovém produktu. Tohoto mnohdy atypického charakteru vlastností zrn je dosahováno přidáním potřebných reagensů. Užité složky rmutu je koncentrována a setrvává ve flotační cele. Koncentrát užité složky je shromažďován ve flotační cele, kde se za běžné flotace koncentruje odpadní produkt a v pěnovém produktu se koncentruje jalová složka. ^[41]

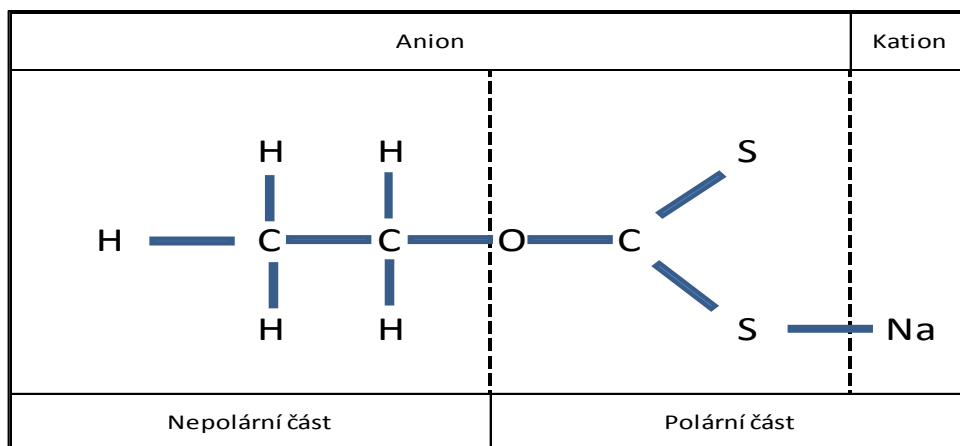
6.4 Použitá flotační činidla

- **Ethyl xantogenan sodný ($C_2H_5OCS_2Na$)**- Jedná se o heteropolární, anionaktivní sulfhydrylní sběrač. Jedná se o sůl kyseliny xantogenanové, dobře rozpustné ve vodě. Pro xantogenany obecně je charakteristický výrazný zápach po česneku. Jeho výroba probíhá podle rovnice: ^[42]



Použití xantogenanů je vhodné v zásaditém a neutrálním prostředí, ve kterém dochází k disociaci do iontové podoby (anionaktivní). Při disociaci heteropolárních sběračů se anionaktivní uhlovodíková skupina nachází ve struktuře aniontu a kationaktivní

ve struktuře kationtu sběrače. Molekuly heteropolárních sběračů se orientují polární skupinou k povrchu minerálního zrna a nepolární od jeho povrchu. ^{[41], [42]}



Obrázek 15 Anionaktivní sběrač, $C_2H_5OCS_2Na$, převzato a upraveno podle [41]

Při disociaci dochází k rozpadu iontové vazby kationové skupiny a anionové. Dochází poté k tvorbě sraženiny s Cu. Chemisopcí chalkopyritu dochází ke vzniku ethyl xantogenanu měďnatého. ^{[41], [42]}

- **PEG- 2000 (polyethylen glykol)**- jedná se o polymer ethylénoxidu $R-(O-CH_2-CH_2-)_n-OH$, $n= 2,3,4$. Vyznačuje se skvělými vlastnostmi tvorby pěny v kombinaci s nízkou spotřebou a žádnou toxicitou pro uživatele nebo životní prostředí. Je vhodný pro flotaci chalkopyritu, pyritu i železné rudy. Úloha pěniče ve flotaci slouží k tvorbě dostatku stabilní pěny. Pěnič snižuje napětí na rozhraní kapaliny a plynu, zlepšuje rozptýlení vzduchových bublin a velký povrch bublin, na které se přichytávají minerální zrna, poté dochází k tvorbě stabilní, nosné, mineralizované pěny na hladině rmutu ve flotační cele. ^[41]
- **Kyselina olejová ((C₁₇H₃₃)COOH)**- jedná se o oxhydrilový sběrač. Důvod použití této kyseliny je schopnost flotace nesulfidických minerálů a rud. V diplomové práci byla použita syntetická kyselina olejová (Olein), která obsahuje rovněž kyselinu palmitovou a stearovou. V kombinaci s olovnatým kationtem a správného pH dosahuje tížených výsledků rozdrůžování, blíže popsanych v kapitole 6.3. ^{[41], [36]}

Tato nenasycená kyselina je rozpustná při pokojových teplotách. Je vhodná pro flotaci oxidických minerálů. Má široké využití při flotaci, které je negováno jeho vysokou cenou a teplotou tuhnutí okolo 15 °C. Mezi jeho nesporné výhody však patří schopnost tvorby pěny, čehož bylo v této části diplomové práce využito. ^{[41], [43]}

- **Uhličitan olovnatý (PbCO_3)**- Tato sloučenina byla vybrána na základě výše zmíněné studie kapitoly 5.1.2 ^[37]. Uhličitan olovnatý zde slouží jako zdroj olovnatého kationtu pro aktivaci křemen při obrácené pěnové flotaci v druhé části experimentální části diplomové práce. ^[36]

6.5 Metodika flotačních testů

Flotační testy proběhly v laboratořích VŠB- TU Ostrava, Institutu environmentálního inženýrství. Celkově bylo provedeno 8 flotačních testů, s využitím dvou flotačních metod. Flotační zařízení je VRF- 1.

6.6 Aplikovaná pěnová flotace

Flotace probíhala na flotátoru RD Příbram pneumaticko- mechanického charakteru. Tento flotátor slučuje pozitiva mechanických a pneumatických flotátorů, především z hlediska promíchávání rmutu, přívodu a disperze vzduchu a ostatních plynů do flotační cely, potřebné tvorbě stabilní pěny. Tato experimentální část sestávala z 5 flotací. Jednotlivé flotace se lišily množstvím a koncentrací použitého sběrače a pěniče, jak ukazuje tabulka 8.

Tabulka 8 Specifikace pěnové flotace, zdroj- Autor

Flotace	Zahuštění (g)	EXS ($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	PEG- 2000 ($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	Agitace (s)	Flotační čas (s)
1	30	200	-	300	900
2	30	100	40	300	900
3	30	200	80	300	900
4	30	400	500	300	900
5	30	800	1000	300	900

Pro první 3 flotace byly využity reagenty o koncentraci 1 %. Toto odpovídá množství 1 kapky EXS (Ethylxantogenan sodný) a 2 kapkám PEG- 2000. 4 a 5 flotaci reprezentovaly reagenty o koncentraci 5 % pro EXS a 3 % koncentrace pro PEG- 2000. Hmotnost kapek byla předem vážena na analytických vahách laboratoře.

Rozemletý vzorek (71 μm) sedimentu byl vysušen a dávkován v množství 30 g do kádinky. Zde byl smíchán s 500 ml vody. Po zhruba 1 minutě míchání byl vzorek kvantitativně převeden do flotační cely, kde došlo k doplnění zbývajících 500 l vody.

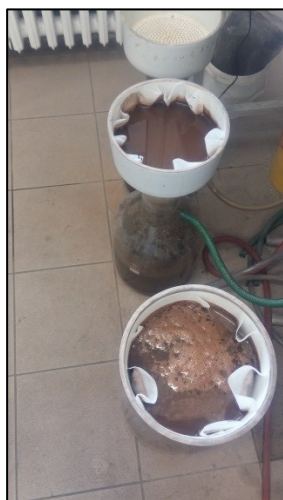
Agitace vzorku (300 s) probíhala kruhovým míchadlem flotátoru. Měření agitační doby započalo po přidání sběrače a pěniče do flotační cely. Po uplynutí agitační doby byl zpřístupněn přívod vzduchu kompresorem do flotační cely a započala pěnová flotace. Pěnový produkt byl z flotační cely odváděn kovovou nerezovou stěrkou. Na obrázku 17 lze vidět průběh flotace během první 1 minuty (vlevo), v porovnání s flotací v 5. minutě (vpravo).



Obrázek 16 Průběh flotace, 1. minuta (vlevo), 5. minuta (vpravo), zdroj- autor

Z obrázku 17 je patrná hustá pěna s menší velikostí bublin, s dostatečnou rezistencí. Její hnědé zbarvení bylo nejsytější v prvních 3 minutách flotace. V 5 minutě již docházelo k tvorbě velkých, nestálých vzduchových bublin.

Po uplynutí flotační doby 15 minut koncentrát i odpad odvodněn na vývěvě (obrázek 18). Pro zjištění množství získaného koncentrátu a odpadu byly zaznamenány hmotnosti filtračních papírů, díky kterým v kombinaci s vývěvou docházelo k odvodnění.



Obrázek 17 Odvodnění na vývěvě, zdroj- autor

Takto upravené flotační koncentráty a odpady byly sušeny v univerzální laboratorní sušárně značky Memmert- UF 110^{PLUS} při teplotě 105 °C po dobu zhruba 20 hodin.



Obrázek 18 Sušárna Memmert, zdroj- autor

Po vysušení byly vzorky koncentrátů a odpadů zváženy a výsledné hodnoty poznamenány pro vytvoření reprezentativních analýz. Jednotlivé flotační produkty byly z důvodu sušení nutno rozmělnit (třecí miska a tlouček), jelikož procesem sušení byla některá zrna slepena. Připravené vzorky byly podrobeny XRF analýze pro zjištění výsledného prvkového, procentuálního složení, viz obrázek 20, 21.



Obrázek 19 Vzorky pro analýzu, zdroj- autor

Tyto vzorky byly jednotlivě vkládány do XRF zařízení pro vyhodnocení výsledného prvkového složení jednotlivých koncentrátů a odpadů (obrázek 21). Zařízení se skládá ze dvou částí. První částí je vespod umístěné měřicí zařízení využívající ionizující záření pro stanovení výsledku. Druhou částí je ochranný kovový box, ve kterém docházelo k vlastnímu měření. Tento box sloužil jak pro ochranu uživatelů před zářením, tak k snadnější manipulaci s měřičem a vzorky. Doba jednoho měření je 60 sekund. Červená barva signalizuje stále probíhající proces měření. Po ukončení a vyhodnocení měření zůstala svítit pouze zelená signalizační kontrolka.



Obrázek 20 XRF měřič, zdroj- autor

6.7 Vyhodnocení flotačních testů

Po ukončení flotace byly produkty odvodněny a vysušeny, detailně popsáno v předchozí kapitole a následně zváženy pro zjištění jejich hmotnostního a procentuálního

zisku. U jednotlivých produktů byly zjišťovány výnosy (%), kovnatost produktů (%), obohacení a výtěžnost kovu do koncentráту.

- **Výpočet výtěžnosti kovu do koncentráту podle vzorce**

$$m_c = \frac{v_c \cdot c}{a \cdot 100} \cdot 100$$

Kde: m_c - Výtěžnost kovu do koncentráту (%)

v_c - Výnos koncentráту (%)

c - Obsah kovu v koncentráту (%)

a - Obsah užitkového kovu v surovině celkem (%)

- **Flotace 1-** Použitý flotační sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 200 g t^{-1} , bez použití pěniče. Zahuštění rmutu 30 g l^{-1} . Agitační doba činidla 300 s, flotační doba 900 s.

Tabulka 9 Výnosy produktů flotace 1

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 1	8,65	30,09
Odpad 1	20,10	69,91
Celkem	28,75	100

Tabulka 10 Kovnatost produktu, flotace 1

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 1 (%)
Cu	3,95	4,30
Si	2,59	2,38
Ca	12,36	14,29
Mn	1,76	1,46
Fe	6,04	6,47
Al	1,51	1,36
Zn	5,79	6,26
LE	64,95	61,95

Tabulka 11 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 1

Obohacení	1,09
Výtěžnost (%)	32,76

Flotační pokus číslo 1 využíval jako reagentii pouze ethyl xantogenan sodný a to v dvojnásobné dávce, než jaká je doporučena podle dostupných zdrojů. Naproti tomu pěnič nebyl použit a kromě získaného obohaceného koncentrátu (1,09 krát) byla sledována schopnost zrn přecházet do koncentrátu. Získaný výnos koncentrátu v množství 30 % je z hlediska výnosů ostatních koncentrátů spíše podprůměrný. Získané obohacení 1, 09 krát není optimální. Kovnatost produktu z hlediska mědi stoupla na hodnotu 4,30 %. Výtěžnost mědi do koncentrátu je 32,76 %.

- **Flotace 2-** Použité flotační sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 100 g t^{-1} , pěnič v dávce 40 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 30 g l^{-1} . Agitační doba činidla 300 s, flotační doba 900 s.

Tabulka 12 Výnos produktů, flotace 2

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 2	9,24	31,84
Odpad 2	19,78	68,16
Celkem	29,02	100

Tabulka 13 Kovnatost produktů, flotace 2

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 2 (%)
Cu	3,95	4,84
Si	2,59	2,59
Ca	12,36	15,07
Mn	1,76	2,11
Fe	6,04	7,21
Al	1,51	1,59
Zn	5,79	7,01
LE	64,95	58,34

Tabulka 14 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentrátu, flotace 2

Obohacení	1,23
Výtěžnost (%)	39,01

Tento flotační test vykazoval nejvyšší obohacení koncentrátu z hlediska Cu, 1,23 krát bohatší. Použitá činidla jsou kvantitativně optimálně volena, výsledná výtěžnost

koncentrátu 31,84 % je v porovnání s ostatními flotačními testy průměrná. Kovnatost produktu z hlediska mědi stoupla na hodnotu 4,84 %. Výtěžnost mědi do koncentrátu je 39,01 % s obohacením 1,23 krát oproti materiálu před flotací.

- **Flotace 3-** Použité flotační sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 200 g t^{-1} , pěnič v dávce 80 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 30 g l^{-1} . Agitační doba činidla 300 s, flotační doba 900 s.

Tabulka 15 Výnos produktů, flotace 3

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 3	8,01	27,26
Odpad 3	21,37	72,74
Celkem	29,38	100

Tabulka 16 Kovnatost produktů, flotace 3

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 3 (%)
Cu	3,95	4,45
Si	2,59	2,27
Ca	12,36	14,36
Mn	1,76	1,95
Fe	6,04	6,56
Al	1,51	1,57
Zn	5,79	6,40
LE	64,95	61,60

Tabulka 17 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentrátu, flotace 3

Obohacení	1,13
Výtěžnost (%)	30,71

Výnos koncentrátu (27,26 %) je nejnižší mezi všemi provedenými flotačními testy s tímto postupem. Oproti flotačnímu testu 2 bylo použito dvojnásobného množství činidel. Obohacení koncentrátu mědi (1,13 %) je v porovnání s ostatními testy na druhé nejvyšší úrovni. Kovnatost produktu z hlediska mědi stoupla na hodnotu 4,45 %. Výtěžnost mědi do koncentrátu je 30,71 % s obohacením 1,13 krát.

- **Flotace 4-** Použité flotační sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 416 g t^{-1} , pěnič v dávce 533 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 30 g l^{-1} . Agitační doba činidla 300 s, flotační doba 900 s.

Tabulka 18 Výnos produktů, flotace 4

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 4	11,97	40,67
Odpad 4	17,46	59,33
Celkem	29,43	100

Tabulka 19 Kovnatost produktů, flotace 4

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 4 (%)
Cu	3,95	4,22
Si	2,59	2,47
Ca	12,36	14,16
Mn	1,76	1,94
Fe	6,04	6,45
Al	1,51	1,55
Zn	5,79	6,25
LE	64,95	61,86

Tabulka 20 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 4

Obohacení	1,07
Výtěžnost (%)	43,45

Flotační test 4 využíval stejná činidla, ovšem ve vyšších koncentracích. Dávka činidel proto mnohonásobně přesahovala doporučenou dávku. Do pěnového produktu bylo převedeno téměř 40 % suroviny, ovšem dávka dodaných reagentů nezpůsobila vysoký výnos frakce ani navýšení kovnatosti. Obohacení suroviny s rostoucími dávkami činidla značně kleslo (1,07 krát) oproti předchozím testům. Kovnatost produktu z hlediska mědi stoupla na hodnotu 4,22 %. Výtěžnost mědi do koncentráту je 43,45 % s obohacením 1,07 krát.

- **Flotace 5-** Použité flotační sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 832 g t^{-1} , pěnič v dávce 1066 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 30 g l^{-1} . Agitační doba činidla 300 s, flotační doba 900 s.

Tabulka 21 Výnos produktů, flotace 5

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 5	9,64	32,87
Odpad 5	19,69	67,13
Celkem	29,33	100

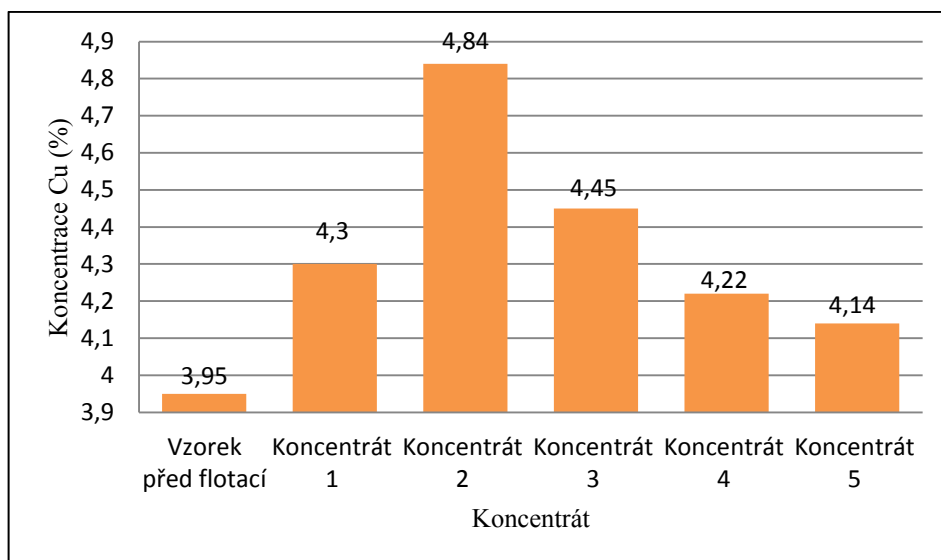
Tabulka 22 Kovnatost produktů, flotace 5

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 5 (%)
Cu	3,95	4,14
Si	2,59	2,14
Ca	12,36	13,74
Mn	1,76	1,84
Fe	6,04	6,31
Al	1,51	1,26
Zn	5,79	6,00
LE	64,95	63,54

Tabulka 23 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 5

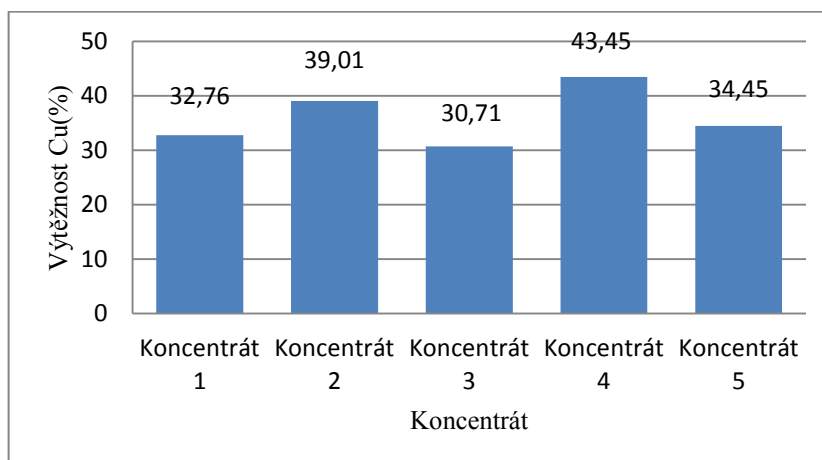
Obohacení	1,05
Výtěžnost (%)	34,45

Cílem tohoto flotačního testu bylo potvrzení aktivní účasti reagensů na flotačním procesu. Z tohoto důvodu byla dávka dále zvýšena, na dvojnásobek koncentrace reagensů testu 4. Obohacení koncentráту mědi kleslo na hodnotu 1,05 krát, výnos koncentráту 32,87 % je průměrný. Kovnatost produktu z hlediska mědi stoupla na hodnotu 4,14 %. Výtěžnosti kovu do koncentráту je 34,56 % s obohacením 1,05 krát.



Graf 3 Koncentrace Cu pěnového produktu flotace 1-5

Účelem grafu 2 je shrnutí působení flotačních reagentů a jejich aktivního podílení se na procesu flotace jako celku. Z tohoto důvodu je ve sloupci 1 koncentrace Cu v předupraveném vzorku (mletí, sítování) sedimentu. Koncentrát 1 byl získán využitím 200 g t^{-1} sběrače EXS bez použití pěniče. Byl tak dokázán jeho selektivní charakter pro flotaci mědi. Pro zvýšení koncentrace v koncentrátu klesla dávka sběrače na 100 g t^{-1} a byl přidán pěnič v dávce 40 g t^{-1} . Výsledná koncentrace 4,84 % Cu je nejvyšší dosaženou koncentrací a rovněž potvrzuje optimální účinky reagentů při této koncentraci. V dalších testech byly zvyšovány dávky reagentů pro zjištění bodu, kdy se už nevyplatí dávky reagentů zvyšovat. Tento bod se nalézá mezi koncentrací EXS 100 g t^{-1} s PEG- 2000 40 g t^{-1} a EXS 200 g t^{-1} , s PEG- 2000 80 g t^{-1} .



Graf 4 Výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 1- 5

Z hlediska výtěžnosti mědi do koncentráту je nejvyšší hodnota sledována u koncentráту číslo 4. Tento parametr je určován výnosem frakce (40,67 %) a koncentrací mědi v produktu (4,22 %). Ze všech flotačních testů má nejvyšší hodnotu z důvodu vysokého výnosu. Nejvyšší obohacení z 5 flotačních testů je sledován u koncentráту 2. V koncentráту bylo změřeno 4,84% Cu. Výnos frakce je však téměř o 10% nižší (31,84%), než u koncentráту 4. Ostatní koncentráty vykazují hodnoty výtěžnosti mědi okolo 30 %.

Lze tedy usuzovat, že úpravnický nejzajímavějšími flotacemi jsou flotace 2 a 4. Použitá činidla flotace 2- sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 100 g t^{-1} , pěnič v dávce 40 g t^{-1} . Použitá činidla flotace 4 sběrač Ethylxantogenan sodný v dávce 400 g t^{-1} , pěnič v dávce 500 g t^{-1} . Z množství dávky vyplývá, že použitá činidla ve vyšších koncentracích mají pozitivní vliv na přechod koncentráту do pěnového produktu, bohužel dochází k negativnímu ovlivňování obohacování. Dochází tedy k vyššímu výnosu v pěnovém produktu pravděpodobně vlivem pěniče. Obohacení koncentráту Cu ovšem klesá.

6.8 Aplikovaná obrácená pěnová flotace

Obrácená pěnová flotace probíhala na stejném flotačním zařízení. Úprava vzorku před flotací a po flotaci probíhala stejným způsobem. Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je v použitých reagentech, zahuštění rmutu, agitačním a flotačním čase. Cílem tohoto flotačního experimentu bylo získat v pěnovém produktu odpad s navýšeným obsahem křemene. Cu koncentrát byl získán po ukončení flotačního času z flotační cely.

Sledovaným materiálem v pěnovém produktu je křemen, kvůli jeho téměř 70 % koncentraci ve vzorku sedimentu. Tímto způsobem došlo ke zvýšení koncentrace Cu zbylého materiálu po ukončení flotace ve flotační cele. Veškerá pozornost byla tedy upřena výběr optimálních flotačních činidel pro flotaci křemene. Flotačními reagenty byla kyselina olejová (sběrač) a uhličitán olovnatý (PbCO_3 , aktivátor). Aktivátor byl zvolen na základě zkušeností dříve provedených experimentů, publikovaných v dostupných zdrojích (viz kapitola 6). Uhličitán byl laboratorně připraven ředěním koncentrovaného PbCO_3 s 250 ml destilované vody. Do flotačního procesu byl aktivátor přidáván v množství 10 ml v naředěném stavu, který odpovídal dávce 500 g t^{-1} vsázky. Dávkování probíhalo automatickou laboratorní pipetou. Kyselina olejová byla dodávána ve 3 koncentracích do 3 flotačních cyklů v koncentraci 500, 750 a 1000 g t^{-1} . Dávkování

probíhalo ve formě kapek. Hmotnost jedné kapky byla změřena na analytických vahách. Adekvátní množství sběrače potom odpovídalo množství 3,5 a 7 kapek. Bližší specifikace flotačního procesu uvádí tabulka 24.

Tabulka 24 Specifikace obrácené pěnové flotace

Flotace	Zahuštění (g)	Kyselina olejová ($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	PbCO_3 ($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)	Agitace (s)	Flotační čas (s)
6	100	500	500	180	180
7	100	750	500	180	180
8	100	1000	500	180	180

Průběh obrácené pěnové flotace charakterizovala tvorba hustší sytě zbarvené hnědé pěny. Pěna byla v čase 30 s (obrázek 22 vlevo) od začátku flotace optimálně hustá s tvorbou malých bublin. Je vysvětlována přítomností kyseliny olejové, která se chová primárně jako sběrač a dále jako pěnič. V čase 150 s od započetí flotace se hustota pěny snižovala, s tvorbou větších nestálějších bublin. Rovněž pozorované sytě hnědé zbarvení se vytratilo (obrázek 22 vpravo).



Obrázek 21 Průběh obrácené flotace, 30 s (vlevo), 150 s (vpravo), zdroj- autor

Po uplynutí flotační doby 3 minuty byly i tyto koncentráty a odpady odvodněny ve vývěvě a dále sušeny při teplotě 105 °C. Zbylý proces probíhal obdobně jako u výše zmíněného předchozího flotačního pokusu.

6.9 Vyhodnocení flotačních testů

- **Flotace 6-** Použité flotační sběrač kyselina olejová v dávce 500 g t^{-1} , aktivátor (PbCO_3) v dávce 500 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 100 g l^{-1} . Agitační doba činidla 180 s, flotační doba 180 s.

Tabulka 25 Výnos produktů, flotace 6

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 6	57,60	59,06
Odpad 6	39,92	40,94
Celkem	97,52	100

Tabulka 26 Kovnatost produktů, flotace 6

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 6 (%)
Cu	3,95	4,21
Si	2,59	2,31
Ca	12,36	14,02
Mn	1,76	1,86
Fe	6,04	6,44
Al	1,51	1,45
Zn	5,79	6,11
LE	64,95	62,31

Tabulka 27 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 6

Obohacení	1,07
Výtěžnost (%)	62,95

Obrácenou pěnovou flotací se výnos koncentráту značně zvýšil (59,06%). V porovnání s flotačními testy 1- 5 není obohacení koncentráту výrazně vyšší. Výtěžnost mědi do koncentráту je však 62,95 %, což je množství o téměř 20 % vyšší oproti flotacím 1- 5. Množství použitého sběrače je oproti flotačním pokusům 7 a 8, tomu odpovídá i výtěžnost Cu. Ovšem z hlediska použitého sběrače v dvojnásobné koncentraci lze konstatovat, že tato koncentrace (500 g t^{-1}) je vhodnější, než dávka dvojnásobná. V porovnání s flotací 7, kde je dávka sběrače o polovinu vyšší, je obohacení, výnos i výtěžnost mědi do koncentráту nejvyšší.

Flotace 7- Použité flotační sběrač kyselina olejová v dávce 750 g t^{-1} , aktivátor (PbCO_3) v dávce 500 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 100 g l^{-1} . Agitační doba činidla 180 s, flotační doba 180 s.

Tabulka 28 Výnos produktů, flotace 7

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 7	59,71	61,42
Odpad 7	37,51	38,58
Celkem	97,22	100

Tabulka 29 Kovnatost produktů, flotace 7

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 7 (%)
Cu	3,95	4,31
Si	2,59	2,13
Ca	12,36	13,94
Mn	1,76	1,91
Fe	6,04	6,44
Al	1,51	1,37
Zn	5,79	6,15
LE	64,95	62,45

Tabulka 30 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 7

Obohacení	1,09
Výtěžnost (%)	70,29

Výnos tohoto flotačního pokusu je nejvyšší ze všech 8 provedených flotací. Lze konstatovat, že tato dávka je neoptimálnější. Výnos koncentráту je 61,42 %, s navýšením koncentrace mědi na 4,31 %. Výtěžnost Cu do koncentráту je 70,29 %. Množství použitých reagensů se jeví jako neoptimálnější kombinace mezi sběračem a aktivátorem křemene. Flotační test 7 přinesl nejvyšší obohacení o měď 1,09 krát v kombinaci s vysokým výnosem frakce (61,42 %) koncentráту.

Flotace 8- Použité flotační sběrač kyselina olejová v dávce 1000 g t^{-1} , aktivátor (PbCO_3) v dávce 500 g t^{-1} . Zahuštění rmutu 100 g l^{-1} . Agitační doba činidla 180 s, flotační doba 180 s.

Tabulka 31 Výnos produktů, flotace 8

Produkt	Vzorek (g)	Výnos (%)
Koncentrát 8	59,30	60,36
Odpad 8	38,94	39,64
Celkem	98,24	100

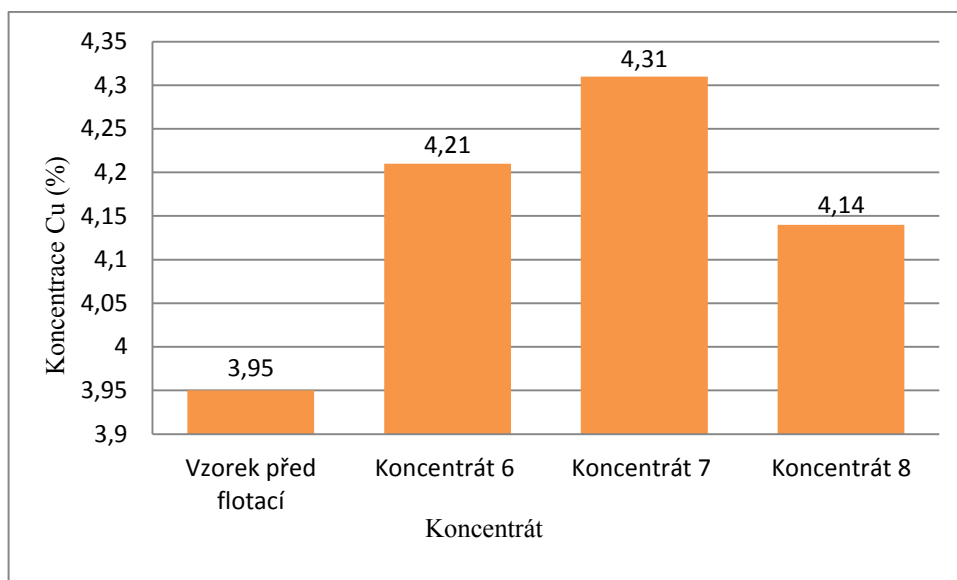
Tabulka 32 Kovnatost produktů, flotace 8

Prvek	Analýza vzorku	Koncentrát 8 (%)
Cu	3,95	4,14
Si	2,59	2,23
Ca	12,36	14,22
Mn	1,76	1,91
Fe	6,04	6,48
Al	1,51	1,52
Zn	5,79	6,10
LE	64,95	62,15

Tabulka 33 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 8

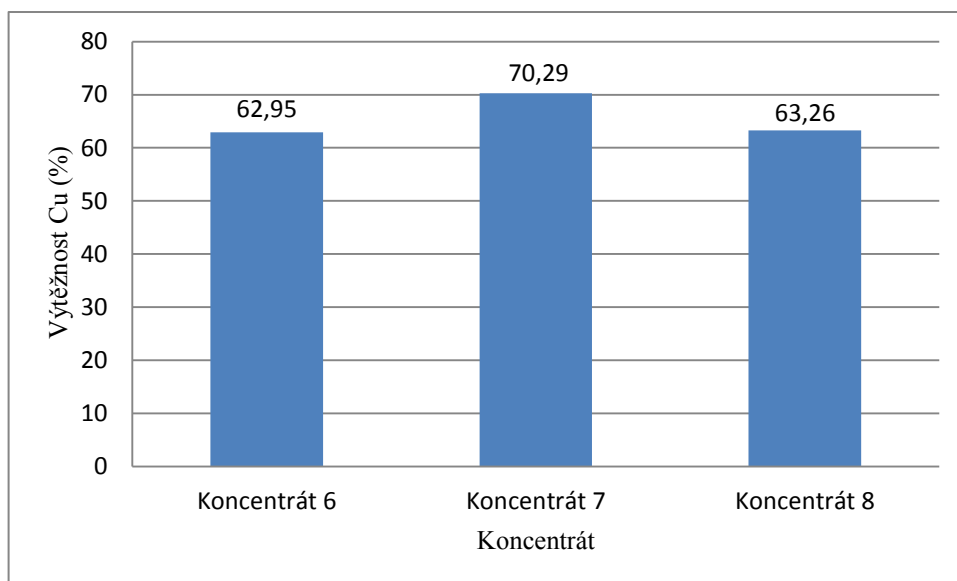
Obohacení	1,05
Výtěžnost (%)	63,26

Flotační test 8 přinesl nejnižší obohacení koncentráту. Nehledě na aplikované množství aktivátoru se tato látka ve své koncentracích chovala spíše jako depresor. K obohacení koncentráту došlo o 0,19 %. Výnos koncentráту je 60,36 %. Výtěžnost mědi do koncentráту je okolo 63 %. Tento flotační test prokázal, že toto množství aktivátoru (1000 g t^{-1}) se nevyplatí aplikovat vzhledem k nízkému obohacení o měď. Došlo k snížení obohacení koncentráту o měď na 1,05 krát.



Graf 5 Koncentrace Cu pěnového produktu flotace 6-8

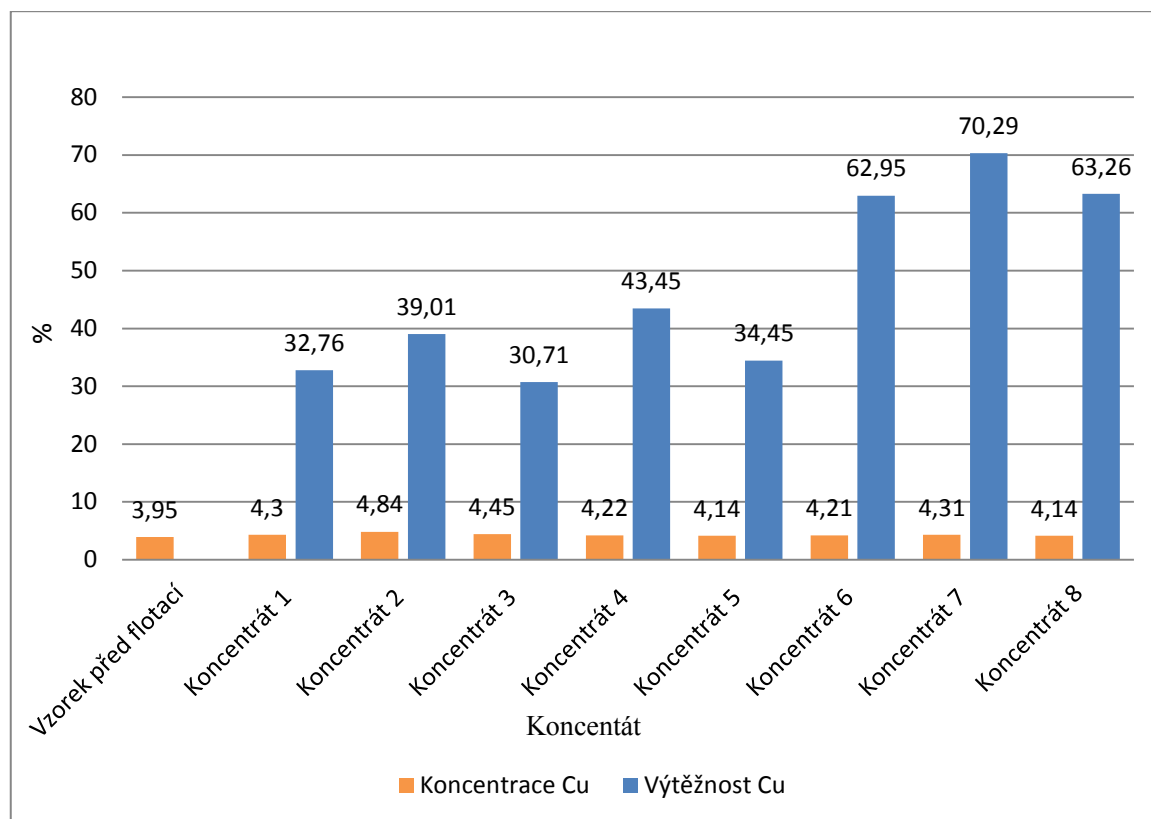
Graf 4 nabízí přehledné porovnání výsledných obohacených koncentrátů o měď v porovnání se vstupní surovinou. Bylo zjištěno, že v rozmezí od 500 g t^{-1} do 750 g t^{-1} aktivátoru došlo k růstu obsahu Cu v koncentrátech. Při dávce 1000 g t^{-1} aktivátoru je zaznamenáno nejnižší obohacení koncentráty (4,14%) u tohoto druhu flotačních testů.



Graf 6 Výtěžnost kovu do koncentráty, flotace 1- 5

Graf 5 graficky porovnává rozdíly množství výtěžitelné Cu do koncentráty. Jak již bylo zmíněno, nejvyšší výtěžnost je zaznamenána u flotace 7. Flotační test 7 je charakterizován středním množstvím použitého aktivátoru (750 g t^{-1}). Při vyšší koncentraci došlo k snižování výtěžnosti. Podle dostupných zdrojů, viz kapitola 5, je dávka aktivátoru

a sběrače optimální při použití jako flotačním testu 6 (500 g^t⁻¹ aktivátor, 500 g^t⁻¹ sběrač). Aplikací činidla 1000 g^t⁻¹ bylo nalezeno pravděpodobné maximum rentabilní aplikace aktivátoru.



Graf 7 Porovnání výsledků 8 flotačních testů

Bylo provedeno celkově 8 flotačních testů při využití dvou rozdílných flotačních metod. 1- 5 flotační pokus je charakterizován podstatně vyšší koncentrací v pěnovém produktu. Maximální koncentrace Cu pěnového produktu je 4,84 %. Tato hodnota reprezentuje flotační pokus 2. Bylo použito 100 g^t⁻¹ EXS a 40 g^t⁻¹ PEG- 2000. Výnos Cu do koncentráту je však poměrně nízký, jelikož výnos koncentráту je pouze 31,84 %. Při snaze nalézt optimální množství pro přidání činidel byly provedeny další 3 flotační testy (3- 5). Koncentrace Cu se ovšem podařilo navýšit. Výtěžnost Cu do koncentráту je ze zmíněných 5 testů nejvyšší u koncentráту 4. V tomto pokusu jsou dávky činidel několikanásobně vyšší (400 g^t⁻¹ EXS a 500 g^t⁻¹ PEG- 2000). Bylo docíleno výnosu frakce 40,67 % při výtěžnosti Cu do koncentráту 43,45 %. Pravděpodobně se jedná o efekt vysoké dávky pěniče, která dopomohla k zisku většího množství pěnového produktu.

Obrácená pěnová flotace (testy 6- 8) jsou naopak charakteristické svou, oproti testu 1- 5, vysokou výtěžností Cu do koncentráту. Výtěžnosti Cu je v rozmezí 62,95 %-70,29 %. Nejvyšší výtěžnost Cu do koncentráту je zaznamenána u testu 7 (70,29 %). Jedná se rovněž o nejvyšší výtěžnost Cu ze všech provedených flotačních testů. Vysoké výtěžnosti Cu do koncentráту bylo dosaženo dávkou 750 g t^{-1} aktivátoru a 500 g t^{-1} sběrače. Výnos frakce je v tomto případě 60,36 %.

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla flotace polymetalického sedimentu se zvýšeným obsahem mědi. V první řadě byla provedena mineralogická analýza a prvková analýza. Na základě mineralogické analýzy byl zjištěn majoritní minerál křemen, chalkopyrit s obsahem Cu pouze 0,52 %. Pro ověření správnosti proto došlo k prvkové analýze pomocí 2 odlišných XRF měřičů. Na základě prvkových analýz byly zjištěny vysoké koncentrace kovů Zn (5,79 % a 7,72 %) a Fe (6,04 % a 7,48 %). Tyto hodnoty pochází ze dvou různých měřících zařízení pro zjištění prvkové analýzy. V mineralogické analýze ovšem nebyl nalezen žádný minerál s tak vysokým obsahem Zn. Dalším kovem s vysokou koncentrací 3,95 % je Cu. Hodnoty koncentrací v obou analýzách se téměř nezměnily, rozdíl činil 0,06 %. Mineralogická analýza potvrdila přítomnost chalkopyritu (0,52 %), z tohoto důvodu byla pro flotační testy a bližší zkoumání vybrána Cu. Prvková analýza zjistila také stopové množství drahých kovů Pt a Au. Tyto hodnoty byly naměřeny v řádu okolo 900 ppm, tedy velmi malém množství.

Z dostupných zdrojů na základě zkušeností z předešlých testů byly potom vybrány 2 flotační postupy- pěnová flotace a obrácená pěnová flotace. Pěnovou flotaci reprezentovalo 5 flotačních testů. Tento postup pravidelně zajišťoval podstatně vyšší koncentraci Cu v pěnovém produktu, v porovnání s koncentráty obrácené pěnové flotace. Nejvyšší naměřená hodnota XRF měřičem je 4,84 % Cu. Obecně však docházelo k nízkým výnosům mědi do koncentrátu a proto byly provedeny další 3 flotační testy metodou obrácené pěnové flotace.

Obrácená pěnová flotace dosahovala nižších koncentrací Cu produktu, ovšem její výnosy byly podstatně vyšší (60 %). Díky vysokým výnosům rovněž došlo k vysoké výtěžnosti Cu do koncentrátu. U flotačního testu 7 je výtěžnost Cu do koncentrátu 70,29 %.

Vzhledem k vysokým výtěžnostem Cu do koncentrátu považuji obrácenou pěnovou flotaci za úspěšnější pokus. Byl získán vysoký výnos frakce s vysokými výtěžnostmi do koncentrátu.

Díky aplikaci rozdílných metod jsem měl možnost postavit do přímého porovnání 2 různé flotační postupy. Pěnovou flotací byla potvrzena optimální dávka činidel,

která při aplikaci do flotační cely vykázala nejvyšší obohacení Cu. Ovšem z důvodu nízkých výnosů produktů byla zvolena obrácená pěnová flotace, která vyřešila nedostatky v nízkých výnosech frakcí. Nedocházelo však k tak vysokým obohacením flotačních koncentrátů.

Vhodným postupem by tak mohla být kombinace dvou flotačních postupů, kde by pěnová flotace sloužila pro zvyšování koncentrace Cu produktů. Obrácená pěnová flotace by sloužila pro vysoký výnos frakce. Potřebné reagenty by se dále upravovaly.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVOTNÝ Pavel, Jiří ZIMÁK. Zlaté Hory: historie a současnost ložiska zlata evropského významu. Olomouc: Memoria, 2003. ISBN 80-85807-20-3.
- [2] Zlaté Hory- současnost. Město Zlaté Hory. Zlaté Hory, 2009 [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: <http://zlatehory.cz/hornictvi/d-305903/p1=36729>
- [3] Surovinové zdroje ČR. Česká geologická služba. Česká geologická služba, 2017 [cit. 2018-04-10] Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2017.pdf>
- [4] Zájmová lokalita [online]. Mapy.cz [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=17.2914071&y=50.2118257&z=12>
- [5] Hydrologie Zlatých Hor. Povodí Odry, státní podnik. Ostrava, 2018 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/stranka/vhp-jesenik.html>
- [6] KVAŠNÝ Karel, ZÁVADA Jaroslav. Flotace důlních vod po těžbě zlata za účelem získání Cu koncentráту. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB- TUO.
- [7] VEISENPACHEROVÁ Denisa, ZÁVADA Jaroslav. Využití bakterie acidithiobacillus ferrooxidans při získávání kovů ze sedimentu důlních vod z lokality zlaté hory. Ostrava, 2016. Diplomová práce. VŠB- TUO. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Závada Ph. D.
- [8] ZH geologie. Pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz. Ústav geologických věd, Brno. Dostupné z: http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/zlate_hory/taborske_skaly.html
- [9] KUČTÍČKOVÁ Zuzana, ZÁVADA Jaroslav. Flotace sedimentu z důlních vod za účelem koncentrace vybraných kovů. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB- TU.
- [10] MIČUDOVÁ Kateřina, DOLNÍČEK Zdeněk. Rudní tělesa. Olomouc, 2014. Bakalářská. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [11] KUČTÍČKOVÁ Zuzana, ZÁVADA Jaroslav. Flotace sedimentu z důlních vod za účelem koncentrace vybraných kovů. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB- TU.
- [12] HOTOVÁ Simona, Botula Jiří. Charakteristika a možnosti využití materiálu z odkaliště zlaté hory. Ostrava, 2017. Diplomová práce. VŠB-TU.
- [13] ZIMÁK Jiří. Ložiska nerostných surovin Část 2. [Http://www.geology.upol.cz](http://www.geology.upol.cz). Olomouc, 2005 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: http://www.geology.upol.cz/upload/studijni_materialy/plne_texty_skript/2005_Zimak_Jiri_Loziska_nerostnych_surovin2.pdf

- [14] Množství vytěženého zlata. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha, 2017 [cit.2018-04-10]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/surovinova-politika/statni-surovinova-politika-nerostne-suroviny-v-cr/2017/4/170228--Material_surovinova_politika-upraveny-po-pripom-VP--.pdf
- [15] MUGANDA S., ZANIN M., GRANO S.R., Benchmarking the flotation performance of ores, *Minerals Engineering*, Volume 26, 2012, Pages 70-79, ISSN 0892-6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.11.002>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687511004031>)
- [16] SUTHERLAND D.N., Batch flotation behaviour of composite particles, *Minerals Engineering*, Volume 2, Issue 3, 1989, Pages 351-367, ISSN 0892-6875, [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(89\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0892-6875(89)90004-6). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0892687589900046>)
- [17] MUGANDA, ZANIN, GRANO. 2008. Flotation behaviour of sulphide mineral size fractions with controlled contact angle. In: *Chemeca Conference Proceedings: Towards a sustainable Australasia*, Newcastle, New South Wales, Australia, Engineers Australia.
- [18] BULATOVIC, WYSLOUZIL, KANT. 1998. Operating practices in the beneficiation of major porphyry copper molybdenum plants from Chile innovated technology and opportunities, a review. *Miner. Eng.* 11, 313–331.
- [19] Journal of the Polish Mineral Engineering Society: *Przeróbka kopalin miedziowych. Inżynieria Mineralna*. kraków, 2008, 7-18/2007; 1-12/2008(VIII, IX), 75-87. ISSN 1640-4920.
- [20] CROZIER Ronald D. Flotation: theory, reagents, and ore testing. Santiago Chille: Pergamon, 1992. ISBN 0080418643
- [21] LIU Guang-yi, LU Yi-ping, ZHONG Hong, CAO Zhan-fang, XU Zheng-he, A novel approach for preferential flotation recovery of molybdenite from a porphyry copper–molybdenum ore, *Minerals Engineering*, Volumes 36–38, 2012, Pages 37-44, ISSN 0892-6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.02.008>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687512000428>)
- [22] RAGHAVAN, HSU, L., 1984. Factors affecting the flotation recovery of molybdenite from porphyry copper ores. *Int. J. Miner. Process.* 12, 145–162.
- [23] Triffett, B., Veloo, C., Adair, B.J.I., Bradshaw, D., 2008. An investigation of the factors affecting the recovery of molybdenite in the Kennecott Utah copper bulk flotation circuit. *Miner. Eng.* 21, 832–840.

- [24] LÓPEZ-VALDIVIESO Alejandro, LOZANO-LEDESMA Luis A., ROBLEDO-CABRERA Aurora, OROZCO-NAVARRO Oscar A., Carboxymethylcellulose (CMC) as PbS depressant in the processing of Pb Cu bulk concentrates. Adsorption and floatability studies, *Minerals Engineering*, Volume 112, 2017, Pages 77-83, ISSN 0892-6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.07.012>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687517301929>)
- [25] PAWLIK, LASKOWSKI, ANSARI. 2003. Effect of carboxymethylcellulose and ionic strength on stability of mineral suspensions in potash ore flotation systems. *J. Colloid Interface Sci.* 260, 251–258.
- [26] LI Chao, RUNGE Kym, SHI Fengnian, FARROKHPAY Saeed. Effect of froth rheology on froth and flotation performance, *Minerals Engineering*, Volume 115, 2018, Pages 4-12, ISSN 0892-6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.10.003>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687517302480>)
- [27] LI Chao, RUNGE Kym, SHI Fengnian, FARROKHPAY Saeed. Determining the significance of flotation variables on froth rheology using a central composite rotatable design, *Powder Technology*, Volume 287, 2016, Pages 216-225, ISSN 0032-5910, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.013>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591015301029>)
- [28] WANG Jianlong, NGUYEN Anh V., FARROKHPAY Saeed, A critical review of the growth, drainage and collapse of foams, *Advances in Colloid and Interface Science*, Volume 228, 2016, Pages 55-70, ISSN 0001-8686, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.11.009>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868615002171>)
- [29] FENG Qicheng, WEN Shuming, ZHAO Wenjuan, CHEN Yu, Effect of calcium ions on adsorption of sodium oleate onto cassiterite and quartz surfaces and implications for their flotation separation, *Separation and Purification Technology*, Volume 200, 2018, Pages 300-306, ISSN 1383-5866, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.02.048>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138358661830251X>)
- [30] ADOBES-VIDAL, PEARCE, UNWIN. Tracking the dissolution of calcite single crystals in acid waters: a simple method for measuring fast surface kinetics, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 19 (2017) 17827–17833.

- [31] HIRAJIMA, SUYANTARA, ICHIKAWA, ELMAHDY, MIKI, SASAKI. Effect of Mg^{2+} and Ca^{2+} as divalent seawater cations on the floatability of molybdenite and chalcopyrite, *Miner. Eng.* 96–97 (2016) 83–93.
- [32] ADOBES-VIDAL M., PEARCE H., UNWIN P.R., Tracking the dissolution of calcite single crystals in acid waters: a simple method for measuring fast surface kinetics, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 19 (2017) 17827–17833.
- [33] ZHU Hai-ling, QIN Wen-qing, CHEN Chen, CHAI Li-yuan, LI Lai-shun, LIU San-jun, ZHANG Ting, Selective flotation of smithsonite, quartz and calcite using alkyl diamine ether as collector, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Volume 28, Issue 1, 2018, Pages 163-168, ISSN 1003-6326, [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64649-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64649-7). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1003632618646497>)
- [34] EJTEMAEI, IRANNAJAD, GHARABAGHI. Influence of important factors on flotation of zinc oxide mineral using cationic, anionic and mixed (cationic/anionic) collectors. *Minerals Engineering*, 2011, 24(13): 1402–1408.
- [35] GE Ying-yong, YU Yong-fu, CHEN Da, ZHANG Ming. Flotation performance of low-temperature resistant cationic collector GE-609 using in separating SiO_2 [J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2005, 27. 17–19.
- [36] EJTEMAEI Majid, IRANNAJAD Mehdi, GHARABAGHI Mahdi, Role of dissolved mineral species in selective flotation of smithsonite from quartz using oleate as collector, *International Journal of Mineral Processing*, Volumes 114–117, 2012, Pages 40-47, ISSN 0301-7516, <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2012.09.004>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301751612001135>)
- [37] IRANNAJAD, EJTEMAEI, GHARABAGHI. 2008. The effects of flotation reagents on the selective separation of smithsonite–calcite–quartz. 1st International Symposium on the Processing of Zinc Ores and Concentrates (Zinc Processing 08) Brisbane, Australia.
- [38] RTG difraktor. VŠB- TUO [online]. Ostrava [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://agent.vsb.cz/category/profily-pracovist/vsb-tuo/hornicko-geologicka-fakulta/institut-cistych-technologii-tezby-a-uziti-energetickych-surovin/pracoviste-rtg-difrakce/>
- [39] XRF delta professional. BAS Rudice spol. s.r.o. Blansko [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: https://www.bas.cz/innov-x-systems/rucni_analyzator_kovu_delta_professional.php

- [40] NOVÁČKOVÁ Martina. Rentgenfluorescenční spektrometr S8 Tiger firmy Bruker. Ostrava, 2017.
- [41] KMEŤ Stanislav. Flotácia. Bratislava: Alfa, 1982. ISBN 63-784-82
- [42] PODEŠVOVÁ Monika, KUČEROVÁ Radmila. Možnosti získávání mědi z měděných strusek z Kovohutí Krompachy. Ostrava, 2013. Disertační práce. VŠB- TUO.
- [43] Pěnová flotace. HGF10.VŠB.CZ [online]. Ostrava [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/Flotace/text_2.htm

9 SEZNAM ZKRATEK

Au	Zlato
CPIT	Centrum pokročilých inovačních technologií
Cu	Měď
ČIŽP	Česká Inspekce Životního Prostředí
EXS	Ethylxantogenan sodný
Hm %	hmotnostní %
LE	Light elements
Mo	Molybden
NL	Nerozpustná látka
RTG	Rentgen
S	Síra
Tzv.	Takzvaný
ZH	Zlaté Hory
ZH- H	Zlaté Hory- Heřmanovice
ZH- Z	Zlaté Hory- Západ
ZH- HS	Zlaté hory- Hornické skály
ZH- J	Zlaté Hory- Jih
ZH- V	Zlaté Hory- Východ

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Lokalizace Zlatých Hor	5
Obrázek 2 Hydrologie Zlatých Hor.....	6
Obrázek 3 Uložení Zlatohorního kalu	8
Obrázek 4 Geologická mapa ložiska, těžba 20. století.....	9
Obrázek 5 Geologická mapa ZH důlního revíru	10
Obrázek 6 Lokalizace Zlatohorních ložisek	12
Obrázek 7 Geologický řez rudním tělesem ZH- západ	13
Obrázek 8 Chalkopyrit, HZ- Hornické skály	17
Obrázek 9 Cu, HZ- Hornické skály.....	17
Obrázek 10 Au, zlatinka ZH- západ.....	18
Obrázek 11 Nevysušený vzorek sedimentu	29
Obrázek 12 Mlýn (vlevo), mlecí tělesa (vpravo)	30
Obrázek 13 Sítování, velikost ok 71 μm	31
Obrázek 14 Pěnová flotace.....	35
Obrázek 15 Anionaktivní sběrač, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCS}_2\text{Na}$	36
Obrázek 16 Průběh flotace, 1. minuta (vlevo), 5. minuta (vpravo).....	38
Obrázek 17 Odvodnění na vývěvě	39
Obrázek 18 Sušárna Memmert.....	39
Obrázek 19 Vzorky pro analýzu.....	40
Obrázek 20 XRF měřič	40
Obrázek 21 Průběh obrácené flotace, 30 s (vlevo), 150 s (vpravo)	48

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Koncentrace obsažených látek v důlních vodách.....	7
Tabulka 2 Zastoupení prvků rudonosné struktury Ložiska ZH- Západ	12
Tabulka 3 Zastoupení prvků rudonosné struktury Ložiska ZH- Východ.....	14
Tabulka 4 Množství vytěženého kovu (t), převzato a upraveno podle [2].....	16
Tabulka 5 Velikosti a koncentrace frakcí vzorku po mletí po dobu 12 minut	20
Tabulka 6 Prvková analýza, XRF DELTA PROFESSIONAL	32
Tabulka 7 Kontrolní prvková analýza sedimentu	33
Tabulka 8 Specifikace pěnové flotace.....	37
Tabulka 9 Výnosy produktů flotace 1	41
Tabulka 10 Kovnatost produktu, flotace 1	41
Tabulka 11 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 1	41
Tabulka 12 Výnos produktů, flotace 2	42
Tabulka 13 Kovnatost produktů, flotace 2	42
Tabulka 14 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 2	42
Tabulka 15 Výnos produktů, flotace 3	43
Tabulka 16 Kovnatost produktů, flotace 3	43
Tabulka 17 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 3	43
Tabulka 18 Výnos produktů, flotace 4	44
Tabulka 19 Kovnatost produktů, flotace 4	44
Tabulka 20 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 4	44
Tabulka 21 Výnos produktů, flotace 5	45
Tabulka 22 Kovnatost produktů, flotace 5	45
Tabulka 23 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 5	45
Tabulka 24 Specifikace obrácené pěnové flotace	48
Tabulka 25 Výnos produktů, flotace 6	49
Tabulka 26 Kovnatost produktů, flotace 6	49
Tabulka 27 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 6	49
Tabulka 28 Výnos produktů, flotace 7	50
Tabulka 29 Kovnatost produktů, flotace 7	50
Tabulka 30 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentráту, flotace 7	50
Tabulka 31 Výnos produktů, flotace 8	51
Tabulka 32 Kovnatost produktů, flotace 8	51

Tabulka 33 Obohacení produktu a výtěžnost kovu do koncentrátu, flotace 8	51
--	----

12 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Flotace křemene za přítomnosti Pb^{+2} iontu a kys. olejové 500 mg.t-1	27
Graf 2 Mineralogické složení sedimentu	32
Graf 3 Koncentrace Cu pěnového produktu flotace 1-5.....	46
Graf 4 Výtěžnost kovu do koncentrátu, flotace 1- 5	46
Graf 5 Koncentrace Cu pěnového produktu flotace 6-8	52
Graf 6 Výtěžnost kovu do koncentrátu, flotace 1- 5	52
Graf 7 Porovnání výsledků 8 flotačních testů	53